

2^{mes}

Journées
Internationales
de la Couleur



TOULOUSE

19-22 MARS 1958

Manfred Riefner

2^{mes} Journées Internationales de la Couleur

TOULOUSE

19-22 Mars 1958

PERSONNALITÉS AYANT ACCORDÉ LEUR PATRONAGE

MM. René BILLERES	Ministre de l'Education Nationale.
RIBEYRE	Ministre de l'Industrie et du Commerce.
HOUPOUET-BOIGNY	Ministre de la Santé publique et de la Population.
MM. PERILLIER	Préfet de la Haute-Garonne, inspecteur général de l'Administration.
MONTEL	Président du Conseil général de la Haute-Garonne.
Général MIQUEL	Commandant la V ^e Région Militaire.
BADIOU	Maire de la ville de Toulouse.
BARLANGUE	Conseiller économique, président de la IX ^e Région Economique et de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Toulouse.

AVEC LA PRESENCE EFFECTIVE DE

MM. GARDELINI	Représentant le ministre de l'Education Nationale.
Dr ABBAL	Inspecteur divisionnaire de la Santé publique de Toulouse, représentant le directeur général de la Santé Publique.
MESURET	Conservateur des musées nationaux, représentant M. Jacques JAUJARD, directeur général des Arts et Lettres.
MOREAUX	Conservateur régional des bâtiments de France, représentant M. PERCHET, directeur général de l'Architecture.

LISTE ALPHABÉTIQUE DES PARTICIPANTS

- 28 **ARNOULD Yvan**
Ingénieur E.N.S.I.C., docteur ès sciences de l'Université de Nancy, ingénieur de recherches au C.T.A. de Paris, 3, rue Descartes, Houilles (S.-et-O.).
- 8 **ARZENS Roger**
Ingénieur conseil, directeur des revues « Chimie des Peintures et Finitions », 16, rue Lambert-Crickx, Bruxelles (Belgique).
- 34 **AUVILLAIN Robert**
Ingénieur, secrétaire général de la Société Lumière, vice-président de la Société Française de Photographie, 25, rue Cassendi, Paris (14^e).
- 100 **ASSEMAT André**
Ingénieur, chef du Service Technique, — Prévention de la Caisse Régionale de Sécurité Sociale de Normandie, 42, avenue de Grammont, Rouen (S.-M.).
- 114 **ADAMS John**
Physicist, head of optics department, Printing Research Association, Patra House, Leatherhead Surrey (Angleterre).
- 158 **AMON Jean**
Représentant peinture et vitre-rie, 52, boulevard Raymond-Naves, Toulouse.
- 1 **BABONNEAU Lucien**
Ingénieur électricien, docteur de l'Université, chef de service à E.D.F., 5, avenue Angré-Bousquairol, Toulouse.
- 2 **BARTHES Emile**
Ingénieur au service technique de la Compagnie des Lampes Mazda, 16, impasse André-Mes-sager, Montreuil (Seine).
- 42 **BELLEFIN Charles**
Directeur commercial de l'agen-ce régionale de la Compagnie Française des Matières Coloran-tes, 14, rue de la Fontaine-Béarnaise, Toulouse.
- 18 **BERTRAND Gérard**
Ingénieur à l'Institut d'Optique, secrétaire de la Commission de Colorimétrie du Centre d'Infor-mation de la Couleur, 191, ave-nue du Maine, Paris.
- 31 **BIED Alphonse**
Ingénieur E.D.F., secrétaire du Centre régional de Lyon de l'A. F.E., 56, cours Franklin-Roose-velt, Lyon (Rhône), accompagné de Mme BIED.
- 16 **BLOTTIAU Félicien**
Ingénieur à l'Institut d'Optique, rédacteur en chef de la revue d'optique, 79, avenue de Saint-Cloud, Versailles (S.-et-O.).
- 54 **BRAUN Franz**
Ingénieur, chargé de Recherches au Laboratoire de Colorimétrie de l'Université de Louvain, 12, boulevard de Laveleye, Liège.
- 29 **BRUGUIERE Jean-Marie**
Directeur commercial de l'agen-ce régionale du Sud de la Cie des Lampes Mazda, 2, rue De-laeroix, Toulouse.
- 77 **BLANCHARD Louis**
Ingénieur représentant, ingé-nieur A. et M., représentant la S.I.F.O.M., 21 bis, rue Dérat, à Toulouse.
- 84 **BAUDET Charles**
Ingénieur E.D.F., 38, rue du Rocher, Paris.
- 97 **BUDKIEWICZ Marcel**
Ingénieur à E.D.F., 9, avenue Jean-Mermoz, La Varenne-St-Hilaire (Seine).
- 108 **BOURDEL Jean**
Ingénieur, chef des Ateliers et Dépôts de la S.T.C.R.T., 45, rue Danielle-Casanova, D.P. 2, bou-levard de la Marquette, Toulou-se.
- 125 **BAUMGARDT Ernest**
Maître de recherche, laboratoire de physiologie générale, 1, rue Victor-Cousin, Paris (5^e), accom-pagné de Mme BAUMGARDT.
- 131 **BURCIER Maurice**
Directeur Teinturerie Univer-sei-le, président de l'Union régio-naïe de la Teinturerie, 9^e Région économique, 1, allées Ed.-Branly, Toulouse.
- 144 **BRACHET Georges**
Ingénieur conseil Caisse régio-nale de Sécurité Sociale, 14, place Saint-Etienne, Toulouse.
- 145 **BEDOUCHE Henri**
Ingénieur Caisse régionale de Sécurité Sociale, 14, place St-Etienne, Toulouse.
- 4 **CAHIERRE Louis**
Inspecteur général géographe, inspecteur général à l'Institut géographique national, profes-seur à l'École Supérieure des Géomètres et Topographes, 48 bis, rue d'Auteuil, Paris (16^e).
- 50 **CALABRO Giuseppe**
Chimiste, ingénieur à Ente Na-zionale Cellulosa et Carta, Via Genzano 145/9 Rome, Rome.
- 24 **CANNET Georges**
Ingénieur, chef de section au Laboratoire de la R.N.U.R. à Billancourt, 3, boulevard Sault, Paris (12^e).
- 10 **CHAPPAT Jean-J.**
Ingénieur à la Cie des Lampes Mazda, 2 bis, rue Oswaldo-Cruz, Paris (16^e).
- 48 **COURTAULT Bernard**
Chimiste Centre d'Etudes des Liants hydrauliques, 9, boulev-ard de Picpus, Paris (12^e).
- 3 **CRUZET Jean**
Ingénieur en chef géographe, chef du service des études de l'Institut géographique national, professeur à l'École nationale des Sciences géographiques et au service hydrographique de la Marine, 122, boulevard Murat, Paris (16^e).
- 98 **CHOTARD Pierre**
Représentant la Société Om-nium scientifique et industriel de France (O.S.I.), 141, rue de Javel, Paris (15^e).
- 121 **CAMILLI Bernard**
Maître imprimeur, syndicat des maîtres, 28, allées Jean-Jaurès, Toulouse.
- 126 **CALESTROUPAT Louis**
Représentant Claude Paz et Silva, 26, Grande rue Saint-Michel, Toulouse.
- 135 **CLAIR Henry**
Directeur, rédacteur en chef de la revue des applications de l'électricité « BIP », 33, rue de Naples, Paris.
- 165 **CALINET Roland**
Ingénieur chimiste, 15, rue du Docteur-Roux, Paris (15^e).
- 55 **DARMAIS Louis**
Teinturier, 18, rue des Sports, Mazamet (Tarn).

- 19 **DRIANCOURT François**
Ingénieur à l'imprimerie Georges Lang, 21, résidence du Petit Chambord, Bourg-la-Reine (Seine), (accompagné de Mme DRIANCOURT).
- 9 **DERIBERE Maurice**
Ingénieur à la Compagnie des Lampes Mazda, 29, rue de Lisbonne, Paris (8^e).
- 58 **DOUNOT Victor**
Président-directeur général de la S.A., Editions Photochrom, 32 Grande Rue Saint-Michel, Toulouse.
- 13 **DOURGNON Jean**
Ingénieur, conseiller du Centre scientifique et technique du Bâtiment, secrétaire général du Comité français de l'Éclairage, 5, rue Jean-Mermoz, Paris (8^e).
- 27 **DUMAREST Suzanne**
Attachée au Centre national de la Recherche scientifique, 69, rue Maurice-Ripoche, Paris (14^e).
- 62 **DUPONT Pierre-François**
Ingénieur conseil en chef Prévention Caisse régionale de Sécurité Sociale du Centre d'Orléans, rue Marc-Sanvuiet, Fleury, Les Aubrais (Loiret).
- 57 **DUVAL Jean**
Ingénieur, directeur technique de l'A.F.N.O.R., vice-président du bureau de normalisation de la Photographie, administrateur du C.I.C., 1, square du Rhône Paris (17^e).
- 80 **DUPRE LA TOUR Henri**
Directeur de l'Agence technique du Sud-Ouest, Sté CIBA, ingénieur-chimiste, licencié ès sciences, 17, rue Riquet, Toulouse.
- 85 **DAVEZAC Jean-Pierre**
Ingénieur chimiste, Société Sovirel, usine Bagneux-sur-Loing, D.P., 27, rue de Larchant, St-Pierre-les-Nemours (Seine-Maritime).
- 99 **DUBOIS Georges**
Inspecteur adjoint S.N.C.F., 9, quai de Seine, Saint-Ouen (Seine).
- 123 **DESERT Christian**
Directeur du département « Gerflex » de la Société Chimique de Gerland, 113, rue Pierre-Brunier, Caluire (Rhône).
- 127 **DEMEESTERE André-Pierre**
Chimiste, ingénieur, 15, rue Louis-Seigneur, Croix (Nord) ; accompagné de Mme DEMEESTERE.
- 133 **DUTREIX**
Ingénieur E.C.P. et E.S.C., chef du centre de distribution Toulouse-Ville d'Electricité de France, 10, quai Saint-Pierre, Toulouse.
- 139 **DIEUZAIDE Jean**
Journaliste-photographe « Illustration », 2, rue Joutx-Aigues, Toulouse.
- 155 **DES Germain**
Inspecteur de prévention, service régional de la Sécurité Sociale, 207, avenue de la Libération, Nancy.
- 160 **DELATTRE Robert**
Ingénieur à la C.F.M.C., 117, rue Charles-Michels, St-Denis (Seine).
- 164 **DENEUVILLE Eugène**
Photographe à E.D.F., 66, rue Hermel, Paris (18^e).
- 51 **EDELMANN Edouard**
Ingénieur, rapporteur de la section I Colorimétrie, 1, rue Charles-Lorilleux, Puteaux (Seine).
- 70 **ELOISE-PILLERAULT Clément**
Journaliste, rédacteur en chef du « Journal de l'Équipement Électrique » 17, avenue Anatole-France, Clichy (Seine).
- 134 **ESPAGNET Bernard**
A. Chimiste, 26, rue Ciffel, Conflans-Ste-Lorraine (S.-et-O.).
- 44 **FALQUET Albert**
Directeur commercial services Expansion technique de la Sté Kodak-Pathé, 23, avenue Rapp, Paris (7^e).
- 33 **FAURE Maurice**
Ingénieur à la Sté Sirven, 76, rue de la Colombette, Toulouse.
- 17 **FLEURY Pierre**
Directeur de l'Institut d'Optique, président d'honneur du Centre d'Information de la Couleur, 37, boulevard St-Michel, Paris.
- 11 **FOURCAUT Héléne**
Ingénieur, chef de laboratoire, chef du service technique à la Société professionnelle des Papiers de Presse, Paris, ingénieur conseil à l'Ente Nazionale Cellulosa Carte, Rome, 20, rue du 22-Septembre, Courbevoie (Seine).
- 61 **FREYTAG René**
Ingénieur-chimiste E. S. C. M., chargé de cours à l'École de Chimie, chef de service Centre de Recherches textiles de Mulhouse, 24, quai du Fossé, Mulhouse (Haut-Rhin).
- 83 **FOUGERES Jean**
Chef de publicité, 14, rue Quatrefoies, Paris (5^e).
- 83 **FISCHER Jean**
Chimiste, traitements chimiques des textiles, Pfstatt-le-Château.
- 129 **FOISSAC Gustave**
Photographeur, 24, boulevard Riquet, Toulouse.
- 132 **FEROUELLE René**
Coloriste, 10, rue Paul-de-Rock, Rueil-Malmaison (St-et-O.).
- 138 **DE FEO**
Reporter-photographe, 10, rue Alsace-Lorraine, Toulouse.
- 157 **FRIELE Ludwig**
Chef du laboratoire de colorimétrie du Vezel institut T.N.O à Delft (Hollande).
- 64 **GAMAIN Charles-Henri**
Constructeur éclairagiste, spécialiste de la lumière noire de l'I.R. de l'U.V. et de la lumière du jour artificielle, 31, rue des Annelets, Paris (19^e), accompagné de Mme GAMAIN.
- 52 **GAMBOLI Mario**
Chimiste, directeur à Ente Nazionale Cellulosa et Carta Piazza Bologna 49, Rome.
- 47 **GAUSSEN Henri**
Professeur à la Faculté des Sciences, 37, allées Jules-Guesde, Toulouse.
- 20 **GIDET Jean**
Ingénieur E.S.E., inspecteur S.N.C.F., 9, quai de Seine, Saint-Ouen (Seine).
- 43 **GAYMARD Ludovic**
Ingénieur en chef de l'éclairage public à E.D.F., 19, rue du Calvaire, Saint-Cloud (S.-et-O.).
- 32 **GILLOD Jean**
Professeur agrégé de physique, docteur ès sciences, chef du service des Recherches optiques au Laboratoire national d'Essais du C.N.A.M., 7, rue du Thann, Paris (17^e).
- 12 **GRAVE Philippe**
Représentant de la Cie des Lampes Mazda, 2, rue Joly, Toulouse.
- 69 **GALLAIS Fernand**
Professeur à la Faculté des Sciences, directeur de l'École nationale supérieure de Chimie, 17, rue Sainte-Catherine, Toulouse.
- 89 **GERMAINE Gabriel**
Chef du service entretien général S.N.E.C.M.A., 70, boulevard Kellermann, Paris, D.P., 1, rue Cahanin, La Garenne-Colombes.
- 92 **GEY Hubert**
Représentant éclairagiste Sté B.B.T. et Guilux, 19, rue Caraman, Toulouse.
- 136 **GARRIGOU Marcel**
Directeur-gérant de la Société Midi-Caoutchouc, 1, allées François-Verdier, Toulouse.
- 150 **GANZ**
Docteur-physicien, S.A. CIBA, à Bâle.

- 14 **HARTOGH Albert**
Colorist conseil I.A.C.C. et Architect B.N.A., représentant de l'Association internationale des Colorist-Conseils, membre du comité directeur. Karel Doormanstraat 4 flat Zandvoort (Hollande).
- 75 **HANTWURZEL Jacques**
Ingénieur-chimiste, laboratoire de peinture de la Régie et des Usines Renault, 21, rue Jean-Georget, Clamart (Seine).
- 102 **HENNICKE Irmgard**
Physicien, diplômé ingénieur, 2 Windennarcher Str 6, Munchen (Allemagne).
- 124 **HYVERNAUD Jacques**
Photographeur, 14, allées Ed.-Branly, Grand-Quevilly (Seine-Maritime).
- 154 **HERVY Jean**
Ingénieur chef du service prévention Caisse régionale de Sécurité Sociale, 101 bis, avenue Général-Leclerc, Nancy.
- 107 **IZARD Adolphe**
Docteur en médecine, médecin du travail S.T.C.R.T., 5, rue St-Pantaléon, Toulouse.
- 49 **JACQUEMART Jean**
Ingénieur de recherche, chef de la section optique du laboratoire de physique de l'Institut textile de France, 59, rue Faisanderie, Paris (16^e).
- 45 **JEANMAIRE André**
Directeur de succursale du Sud-Ouest de la Compagnie Générale d'Electricité, 16, rue Bayard, Toulouse.
- 37 **JONCKEERE Jeanine**
Ingénieur au laboratoire de colorimétrie de la société française DUCO, 1, place Balard, Paris (15^e).
- 46 **JUMELLE Jean**
Chef de service à la Compagnie Générale d'Electricité, 16, rue Bayard, Toulouse.
- 63 **JUNG Gérard**
Inspecteur des ventes Minnesota de France, 135, boulevard Sérurier, Paris (19^e).
- 6 **KOWALISKI Paul**
Chef du laboratoire technologie, couleur et photographie appliquée, 19, rue Condorcet, Clamart.
- 76 **KANDEL Roger**
Ingénieur-chimiste, ingénieur du laboratoire peinture de la R.N. U. Renault, 94, rue de Lourmel, Paris (15^e).
- 116 **DE KERF Joseph**
Licencié S.C. Laboratoire de Physique, NV. Gevaert, Photo producteur, Minervastroat, 19 Mortsel (Belgique).
- 163 **KISS Etienne**
Négociant couleurs, peintures, vernis, directeur général, ingénieur-chimiste de la Société ECOPLASS, 11, rue des Cheminots, Toulouse.
- 72 **KREMPEL Fritz**
Diplom ingénieur, Lindenufer 27, Berlin Spandau (Allemagne).
- 21 **LEBLANC Georges**
Architecte D.E.S.A., éclairagiste chef du service éclairage à la Cie Clemançon, 23, rue Lamartine, Paris, D.P. 7, place Saint-Sulpice, Paris.
- 23 **LE GRAND Yves-Jacques**
Professeur au Muséum d'Histoire naturelle, président du C.I.C., 57, rue Cuvier, Paris (5^e).
- 56 **LUTIER Gérard**
Ingénieur, secrétaire général adjoint du C.I.C., 6, avenue Maurice-Berteaux, Andresy (Seine-et-Oise), accompagné de Mme LUTIER.
- 79 **LEGOURD André**
Industriel, rue Gabriel-Péri prolongée, Vitry-sur-Seine.
- 81 **LELEU Claude**
Ingénieur E.N.S.C., 5, rue Crévaux, Paris (16^e).
- 90 **LEGUAY Philippe**
Impression cartonnages, ingénieur, 33, rue de la Source, Olivet (Loiret), accompagné de Mme LEGUAY et Mme CHARPENTIER.
- 119 **LOUSTAU Jacques**
Maître-imprimeur, syndicat des maîtres-imprimeurs, 30, rue de l'Industrie, Toulouse.
- 120 **LARROUY Alfred**
Directeur Ets Villemer, 17, avenue de l'Opéra, Paris.
- 122 **LEVY Jean-Pierre**
Ingénieur en chef Institut national de Sécurité, 44, rue des Perchamps, Paris (16^e).
- 137 **LION Marcel**
Opticien-lunetier, secrétaire adjoint de l'Union nationale des Opticiens de France, président de l'Association des Anciens Elèves de l'Ecole nationale professionnelle d'Optique et Lunetterie « Victor Bérard », secrétaire général honoraire de la Chambre syndicale des Opticiens-Lunetiers détaillants de Toulouse, 49, rue Alsace-Lorraine, Toulouse.
- 140 **LEROUX Guy**
Publicitaire, chef de publicité, agence Dupuy, 16, rue des Planètes, Paris (14^e).
- 141 **LA TOISON Marc**
Ingénieur S.A. Philips, 8, rue Dupont-des-Loges, Paris.
- 151 **LAFABRIER Maria**
Directrice de cinéma, présidente du Syndicat des Directeurs de Cinémas du Centre-Sud, 4, boulevard de Strasbourg, Toulouse.
- 162 **LEYRONNAS Yves**
Chimiste aux « Peintures Gauthiers », 9, rue P.-Langevin, à Belfort.
- 59 **DE MAISONNEUVE Jean**
Ingénieur-conseil, chef du service de la Prévention des Accidents du Travail à la Caisse régionale de Limoges, 4, cité du Mas-Bouyol, Limoges (H.-V.).
- 22 **MARTIN Gérard**
Directeur des recherches au Centre technique Hachette, 4 bis, rue de Cléry, Paris (2^e).
- 60 **MARTY Henri**
Ingénieur E.S.E., ingénieur E. D.F., administrateur, directeur de la société Codelec, délégué général de l'Association Electro-Relations, 43, rue Alsace-Lorraine, Toulouse, président du centre de Toulouse de l'Association française des Eclairagistes.
- 38 **MICHOT Jacques**
Conseiller technique Arts Graphiques, 28, rue des Epinettes, Saint-Maurice (Seine).
- 7 **MOUCHEL Pierre**
Ingénieur au laboratoire de technologie couleur et photographie appliquée à la société Kodak-Pathé, 16, rue Arago, Velizy (Seine-et-Oise).
- 5 **MULEAU Guy**
Photographe, 11, rue Albert-1^{er}, Aix-les-Bains (Savoie).
- 68 **MASSONNET Pierre**
Médecin hygiéniste du Travail, 17, rue Corderant, Angoulême.
- 101 **MALAURE Georges**
Ingénieur-conseil à la Caisse régionale de Sécurité Sociale du Massif Central, 30, rue Rossignol, Clermont-Ferrand (P.-de-D.).
- 105 **MERLIER Robert**
Ingénieur, labo physique C.F. M.C., 77, rue Jean-Jaurès, Nogent-sur-Seine.
- 104 **MARTY Jacques**
Esthéticien industriel, chef du département « industriel » à la Cie de l'Esthétique industrielle, 8, rue Louis-Delaporte, Paris (20^e).
- 106 **MOUSCOT Pierre**
Ingénieur, chef du laboratoire de physique de la Cie Française des Matières colorantes, 9, avenue George-V, Paris, D.P. 25, rue Henri-Pauguet, Creil (Oise).
- 111 **MARTIN Louis**
Ingénieur à E.D.F., service commercial, 15, rue du Périgord, à Toulouse.

- 142 **MUSGROVE John**
Architecte, Bachelor of architecture, University of Durham and A.R.I.B.A., Londres.
- 143 **MEDA Henri**
Négociant, président du Syndicat de Peinture et Papiers peints de la H.G., 2 bis, rue Alsace-Lorraine, Toulouse.
- 65 **NAMPON René**
Ingénieur en chef E.D.F., secrétaire général du Comité français de l'Éclairage et du Chauffage, 7, square de Clignancourt, Paris (accompagné de Mme NAMPON).
- 41 **NEGRE Louis**
Agent de la Compagnie française des Matières colorantes, 9, allée des Acacias, Toulouse.
- 35 **NIEDERHAUSER Jean**
Ingénieur à la Compagnie française des Matières colorantes, B.P. Creil (Oise).
- 82 **NIDERST Raymond**
Officier, rapporteur de la Commission militaire des Peintures, section technique de l'Armée (Génie), 5, rue Carnot, Versailles.
- 146 **NOUGUES Renée**
Journaliste « Revue de l'Économie » et « Arts Ménagers », 18, rue du Langueçoc, Toulouse.
- 25 **PARRA François**
Assistant du professeur Y. Le Grand, assistant en océanographie, physicien, recherche scientifique, 16, rue du 14-Juillet, à Maisons-Alfort.
- 30 **PASZKIEWICZ Etienne**
Directeur de l'Institut de Recherches graphiques, 1, square de Rocamadour, Paris (16^e).
- 40 **PELLAT Jean**
Directeur d'imprimerie, 74, rue Ney, Lyon.
- 74 **PINTE Jules**
Vice-président et conseil du Centre de Recherches de la Soierie et Industries textiles, 7, rue St-Polycarpe, Lyon.
- 86 **PERIAT Jacques**
Coloriste à la Régie nationale des Usines Renault, 17 ter, rue du Pont-Colbert, Versailles.
- 96 **PETRE Albert**
Ingénieur-administrateur de la Sté Octochrome, 220, avenue Winston-Churchill, à Bruxelles (Belgique).
- 113 **PETERI Robert**
Ingénieur de recherches, ingénieur, docteur E.B.P., 210, avenue A.-Briand, Antony (Seine).
- 115 **PHILBEE Pierre**
Ingénieur chimiste, ingénieur à la Compagnie française de Matières colorantes, 117, rue Charles-Michel, Saint-Denis, D.P. 24, rue de la République, Orléans (Loiret).
- 118 **PERODEAU Maurice**
Ingénieur E.D.F., 10, rue Simone-Dutemps, Toulouse.
- 110 **PETIT Emile**
Ingénieur, directeur technico-commercial de « GERFLEX », 56, rue Chardon-Lagache, Paris (16^e).
- 152 **PENENT Jean**
Photographe, délégué du Syndicat des Négociants photo et cinéma de Toulouse et région, 7, place Lafourcade, Toulouse.
- 153 **PLAZA Lorenzo**
Docteur ès sciences, vice-directeur de l'Institut d'Optique de Madrid.
- 161 **PERETTI André**
Ingénieur à la Sécurité Sociale de Marseille, Marseille.
- 39 **REY Paul**
Sous-directeur du service de la carte de la végétation de la France au Centre national de la Recherche Scientifique, 98, rue de Cugnaux, Toulouse.
- 73 **ROCHAS Paul**
Ingénieur-docteur, directeur du Centre de Recherche de la Soierie et les Industries textiles de Lyon, 7, rue Ste-Polycarpe, Lyon (Rhône).
- 93 **RICHTER Manfred**
Professeur, chef du laboratoire de recherches appliquées de la couleur, président du Comité allemand de la Normalisation de la Couleur, rédacteur du journal « Die Farbe », Unter den Eichen 87, Berlin Dahlem (Allemagne).
- 94 **REINGOLD Lucien**
Ingénieur civil, représentant le Laboratoire central de l'Armement, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, Paris (7^e).
- 112 **ROBIN Léon**
Chef du service électrique des Musées de France, 34, quai du Louvre, Paris.
- 130 **REGEOFFE**
Ingénieur, chimiste, directeur des Ets Vital-Pégot, 12, rue Arnaud-de-Molle, Toulouse.
- 147 **ROBERT Jean**
330, route de Seysses, Toulouse.
- 148 **ROUAN Roger**
Entrepreneur peinture, 5, rue Thionville, Toulouse.
- 36 **SAFFRE Erasme**
Ingénieur, chef du laboratoire de colorimétrie à la Sté DUCO, 22, rue Henri-Rochefort, Paris (17^e).
- 53 **DE SCHREVEL Guillaume**
Chimiste, chef du groupe chimie du département de la normalisation des usines Philips, 24, rue Prins Alexander, Eindhoven (Pays-Bas).
- 78 **SCHULTZE Werner**
Chimiste, docteur ingénieur, Ludwigshafen (Allemagne).
- 109 **SONET Jean**
Ingénieur conseil, Caisse régionale de Sécurité Sociale, Dijon (Côte-d'Or).
- 159 **SPIRAL Jean-Claude**
Délégué régional Polyrey, 42, avenue de Lombez, Toulouse.
- 26 **TENDRON Georges**
Rédacteur en chef de la revue « Science et Nature », assistant au Muséum d'Histoire Naturelle, chef du service des relations extérieures, 37, avenue du 11-Novembre, La Varenne (Seine).
- 71 **THOMAS Gilbert**
Chef du service technique des Ets Cunow, 12, boulevard Poissonnière, D.P. 69, rue du Chemin-Vert, Paris (11^e).
- 91 **THESIO Henri**
Ingénieur à E.D.F., service de la normalisation, 20, rue Hamelin, Paris (16^e).
- 95 **THOMAS Maurice**
Coloriste, administrateur du bureau d'études de la S.A. Octochrome, 47, rue d'Arlon, Bruxelles (Belgique).
- 117 **THIELS Albert**
Physicien, docteur ès sciences, chef du laboratoire de physique N.V. Gevaert photo producteur, Linden lei 53, Mortsel (Belgique).
- 128 **TAXY Dominique**
Chargé de mission Centre de Productivité, 83, rue Gambetta, Saint-Leu (S.-et-O.).
- 156 **TRILHE Robert**
Architecte des Hospices, 8, rue Sainte-Anne, Toulouse.
- 103 **VIGUIER René**
Photographe, conseiller technique, 4, rue du Commandant-Léandri, Paris.
- VALDES**
Chef du service cinéma, 16 mm. à la Société Kodak.
- 66 **WELCOMME Pierre**
Directeur de la S.A. Vernis Claessens, 10, rue du Général-de-Gaulle, Mons-en-Barœul (N.).
- 67 **WORTH Jean-Jacques**
Minnesota de France, 135, boulevard Sérurier, Paris (19^e).
- 15 **WRIGHT William-David**
Technical Optics Section, Imperial College, University Professor, In charge of post-graduate Department of technical optics, S.W. 7, Londres (Angleterre).
- 87 **WORINGER Jean**
Ingénieur chimiste fabrique de produits chimiques de Thann et de Mulhouse, Thann (Haut-Rhin).

SOMMAIRE

SECTION I. - COLORIMÉTRIE

MÉTROLOGIE

Commission belge de colorimétrie (M. ARZENS) . . .	11
Le problème de l'unification des mesures dans l'application de la colorimétrie (F. BRAUN)	11
Méthodes et appareils permettant la mesure colorimétrique (W.-D. WRIGHT)	14
Rapport de la commission de colorimétrie du Centre d'Information de la Couleur (G. BERTRAND) . . .	18
Note sur l'application des formules de blancheur (R. SEVE)	24
Sur la précision des mesures colorimétriques (F. BLOTTIAU)	27
La colorimétrie subjective : Contribution à la mesure des écarts de couleurs (G. BERTRAND)	28

LA REPRODUCTION DES COULEURS

Les primaires des procédés dits soustractifs de photographie en couleur (P. KOWALISKI)	33
Différences fondamentales entre la reproduction des situations des couleurs par la synthèse additive et par la synthèse soustractive (P. MOUCHEL)	38
Contribution à l'étude des variations de la chromatocité des impressions avec leur intensité (MM. GAMBIOLO et CALABRO)	46

Reproduction des diapositives couleurs par impression trichrome en héliogravure (F. DRIANCOURT) . . .	53
Méthodes colorimétriques en comparaison des impressions trichromes (M. EDELMANN)	61

L'UTILISATION INDUSTRIELLE DE LA COLORIMÉTRIE

Le contretypage des couleurs (F. BRAUN)	67
Le métamérisme et son influence sur le contrôle des couleurs (Mme JONCKHEERE)	74
Application des mesures colorimétriques à l'essai des encres d'imprimerie (M. ADAMS)	78
Sur quelques aspects du problème de l'évaluation de la solidité à la lumière des teintures (Mme S. PIERRET)	81
Etat du problème de la normalisation de l'étalon de blanc (J. GILLOD)	87
Aperçu sur l'état actuel du problème des tolérances (P. MOUGEOT)	88
Situation actuelle des études sur la couleur en Allemagne (Prof. Dr. Manfred RICHTER)	95
Résolutions et vœux	97

SECTION II. - HYGIÈNE, CONFORT, SÉCURITÉ

LUMIÈRE ET COULEUR

Éléments d'hygiène, de confort et de sécurité du travail.

Normalisation des couleurs et sécurité (Jean DUVAL)	100
Projet de norme, sur le plan national d'abord, sur le plan européen ensuite, relatif aux pigments « fins » pour artistes (M. RABATE)	107
Application d'un colorimètre trichromatique transportable à l'étude des rapports lumière-couleurs (M. BARTHES)	109
La psychophysiologie de la couleur (E. BAUMGARDT)	112

L'importance esthétique des relations mutuelles des variables psycho-physiques de la couleur (S. DUMAREST)	114
Polychromie architecturale réalisée par peintures en travaux d'extérieur et d'intérieur (J.-L. RABATE)	118
Couleurs fonctionnelles (M. LARROUY)	120
Photographies des polychromies fonctionnelles de la Société Duco (M. SAFFRE)	122
Lumière et couleur, facteurs d'hygiène, de confort et de sécurité du travail (M. LEVY)	125
Visibilité des panneaux de signalisation (M. de SCHREVEL)	126
Visibilité des panneaux de signalisation à usage industriel (E. BARTHES)	129
Résolution de la Section 2	131

SECTION III. - ENSEIGNEMENT DE LA COULEUR

Enseignement de la couleur (discussion)	134
Nécessité de l'enseignement interprofessionnel de la couleur (M. GILLOD)	135

Pour un enseignement de la couleur en photographie (M. AUVILLAIN)	136
Intérêt d'un enseignement conjugué « Lumière-Couleur » (M. NAMPON)	139

SECTION IV. - RÉALISATIONS COLORÉES

LA COULEUR DANS LA CARTOGRAPHIE

L'emploi des couleurs en cartographie (M. GAUSEN)	142
La cartographie botanique en couleurs (M. REY)	145
La réalisation des teintes en cartographie (Loïc CAHIERRE)	148
Influence du chromatisme de l'œil sur la perception	

du relief en vision binoculaire (J. CRUSET)	149
Les procédés de photographie en couleur (M. AUVILLAIN)	154

ÉLOGE DE LA COULEUR

L'éloge de la couleur (M. BABONNEAU)	157
--	-----

SECTION I

COLORIMÉTRIE

Président : M. le Professeur Yves LE GRAND, Président
du Centre d'Information de la Couleur;
Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

Rapporteur : M. EDELMANN, Chef du Laboratoire des
Etablissements Ch. Lorilleux.

MÉTROLOGIE

COMMISSION BELGE DE COLORIMÉTRIE

par M. ARZENS
Ingénieur-Conseil.

Après avoir fait un bref historique des efforts français et belges dans le domaine de la colorimétrie, et montré comment depuis les Journées Internationales de la Couleur tenues à Amiens en 1957, une

étroite collaboration s'était établie avec la Commission de Colorimétrie française, M. Arzens souligne l'importance de l'unification des mesures colorimétriques ainsi que du vocabulaire.

LE PROBLÈME DE L'UNIFICATION DES MESURES DANS L'APPLICATION DE LA COLORIMÉTRIE

par F. BRAUN

*Chargé de Recherches au Laboratoire de Colorimétrie Oscar Peters
de l'Université Catholique de Louvain*

Ce problème en l'état actuel du développement de l'application des méthodes colorimétriques, présente un caractère d'importance vitale et d'actualité brûlante.

Il est profondément regrettable de constater qu'à l'origine les laboratoires de recherches et les constructeurs d'appareils de mesure, aient créé ces appareils sans aucune directive commune et suivant des concepts tout à fait personnels. Il en est résulté une variété considérable d'appareils basés souvent sur des principes très différents. Or il est une loi générale dans tous les domaines qui veut que, pour reproduire des phénomènes identiquement, il est de nécessité absolue d'observer des processus opératoires identiques également. Le fait de créer des appareils sur des bases ou des principes différents, devait fatalement aboutir à des résultats de mesure différents également. Si l'on tient compte de plus qu'en dehors d'appareils conçus sur des bases scientifiques, nombre de constructeurs ont mis sur le marché des appareils conçus uniquement dans un but commercial, il ne faut pas s'étonner de rencontrer des divergences atroces dans les mesures, divergences qui justifient la méfiance de beaucoup de chefs d'entreprise à l'égard des spectrophotomètres, photocolorimètres et colorimètres, qui leur sont présentés.

L'importance de l'application des méthodes colorimétriques ayant été particulièrement mise en évidence dans ces derniers temps, les laboratoires de recherches se sont inquiétés de la situation créée par cette improvisation imprévoyante. Le dernier Congrès qui s'est tenu à Berlin, fin de l'année écoulée et auquel j'ai eu l'honneur de participer, a été consacré principalement à l'examen de ce problème et aux remèdes à apporter à cette situation. La Commission Belge de Colorimétrie, en collaboration avec la Commission Française procède à l'étude et à la détermination de normes des caractéristiques de ces

appareils, normes qui permettraient, sans nuire à la liberté d'initiative personnelle des constructeurs, d'uniformiser les résultats des mesures. Ces deux Commissions procèdent également à un test comparatif des qualités et des résultats de mesure sur un nombre important d'appareils de type divers. Le résultat de ce test réserve certainement des surprises.

La tolérance acceptable pour un tel test doit être basée sur une tolérance visuelle, estimée à une unité N.B.S., que l'on peut considérer comme correspondant au plus petit écart perceptible par un individu normal et dans des conditions normales d'observation. Cette limite correspond à une tolérance sur les valeurs trichromatiques α et β , de $\pm 0,001$ à $\pm 0,003$ selon la valeur de l'intensité. Ces limites sont très étroites et j'ai pu constater que les écarts de mesure entre le spectrophotomètre Hardy et le spectrophotomètre du Professeur Wright, pris comme base de comparaison, dépassent déjà cette limite de tolérance admissible.

Si nous considérons les appareils du genre photocolorimètre, nous nous trouvons devant des écarts qui atteignent facilement l'ordre de $\pm 0,02$ à $0,05$ sur les coefficients trichromatiques x , y . Un tel écart peut correspondre à une différence de teinte, c'est-à-dire de longueur d'onde dominante, très importante. De tels écarts éliminent toute possibilité de comparaison entre les mesures.

Quelles sont les causes de ces différences et quelles sont les possibilités de normalisation des caractéristiques des appareils susceptibles d'y apporter remède.

Envisageons tout d'abord les spectrophotomètres et voyons leurs caractéristiques principales.

En premier lieu nous avons la monochromaticité, qui est très variable suivant les types d'appareils. Dans le spectrophotomètre Lvlo, dont nous venons de terminer la mise au point et dont la description

paraîtra dans le prochain fascicule de la Revue « Couleurs », nous avons pu réaliser une monochromaticité correspondant à une largeur de bande de $5 \text{ m}\mu$, en n'utilisant qu'un seul prisme. Le spectro-photomètre Hardy, malgré une double dispersion, ne donne qu'une largeur de bande de $10 \text{ m}\mu$. L'importance de la monochromaticité ne se fait toutefois sentir réellement que pour des courbes spectrales présentant des minimums et de maximums d'intensité accentués, tel que c'est le cas pour la courbe d'un filtre didyme. Pour les courbes spectrales courantes à courbure plus continue, l'importance de la monochromaticité est plus faible et cette caractéristique d'un spectrophotomètre est une des moins critiques pour un appareil destiné à équiper un laboratoire industriel. Il n'importe pourtant qu'il est utile de fixer une largeur de bande moyenne standardisée.

Une seconde cause d'écart dans les mesures réside dans le dispositif d'équilibrage. L'équilibrage manuel au O par l'intermédiaire d'un galvanomètre ou d'un millivoltmètre ne peut normalement dépasser la valeur de $+ 0,001$ sur les coefficients x , y comme reproductibilité. Par contre un équilibrage automatique comme celui que nous avons réalisé sur le spectrophotomètre Lvlo, avec un moteur de balances obéissant à un changement de phase, assure une reproductibilité de l'ordre du $0,0001$. On pourrait objecter à ce dispositif automatique, la fragilité d'un montage électronique. Cette objection est plus apparente que réelle. Je travaille en effet intensivement avec le Hardy depuis plus de sept ans et je n'ai jamais éprouvé de contretemps avec le montage électronique. Quant au Lvlo, il est soumis depuis un an à un test quotidien de plusieurs heures, et là non plus le montage électronique n'a jamais failli.

Enfin la troisième cause d'écarts de concordance dans les mesures réside dans les dispositifs différents utilisés pour l'incidence de la lumière sur l'échantillon, dans les mesures de rémission. La C.I.E. et le N.B.S. ont normalisé une incidence de 45° et l'enregistrement de la diffusion par la cellule normalement à l'échantillon. Cela n'a pas empêché les constructeurs américains eux-mêmes d'adopter des dispositifs variés.

Hunter a adopté le dispositif normalisé par le N.B.S. Dans les appareils Photovolt « Lumetron » par contre le faisceau lumineux parallèle est projeté normalement sur l'échantillon et se réfléchit sur lui-même; la diffusion est enregistrée par une cellule annulaire. Enfin dans le Hardy l'angle d'incidence est très faible $+ 8^\circ$ et la diffusion se fait dans une sphère d'intégration recouverte intérieurement d'oxyde de magnésium. La réflexion spéculaire est absorbée par un tube en velours noir ou diffusée dans la sphère par un bouchon recouvert d'oxyde de magnésium. On peut ainsi mesurer la réflexion totale spéculaire et diffuse, ou la réflexion diffuse seule.

Cette dernière source d'écarts de concordance a une influence prépondérante sur les mesures de réflectance et une normalisation sérieusement conçue et observée s'impose ici.

En ce qui concerne les photocolorimètres, les sources d'écarts de concordance dans les mesures sont encore plus nombreuses.

Indépendamment du mode d'équilibrage manuel ou automatique cité dans l'examen des spectrophotomètres, il y a lieu d'envisager le dispositif même d'équilibrage.

Certains utilisent un coin de densité variable étalonné. D'autres utilisent une résistance électrique étalonnée dont la constance est sujette à caution. D'autres tels que l'appareil de Hunter utilisent le déplacement de la cellule rapprochée de l'échantillon pour compenser la différence d'intensité, qui varie ainsi avec le carré de la distance.

Dans les photocolorimètres que nous réalisons l'équilibrage au O est obtenu par extinction de lumière polarisée au moyen de deux nicols.

Enfin les divergences résultant de l'incidence de la lumière pour la rémission se retrouvent également dans les photocolorimètres.

Tous ces dispositifs différents constituent des sources fortuites d'écarts. Indépendamment de ces sources fortuites d'écart, les photocolorimètres, qui sont basés essentiellement sur l'emploi de filtres tri-stimulus pour déterminer les valeurs tri-stimulus X , Y et Z , présentent de par ce principe même une erreur systématique. Il faut en effet tenir compte que l'intensité enregistrée par la cellule qui est généralement une cellule à couche d'arrêt, cette intensité dis-je, est le produit de quatre facteurs:

1. — la réponse énergétique de la source lumineuse
2. — la réponse spectrale de la cellule
3. — la réponse spectrale des filtres tri-stimulus
4. — la réponse spectrale de la couleur que l'on analyse.

Dans ce produit, la réponse de la couleur est inconnue à déterminer. Quelle est l'influence des trois autres facteurs sur la mesure?

Considérons-les séparément:

- 1 — la réponse énergétique de la source lumineuse: celle-ci est généralement une lampe à filament de tungstène, légèrement survoltée. On peut la considérer comme relativement constante si l'on utilise une tension stabilisée et contrôlée et si l'on limite la durée de vie de la lampe.
2. — la réponse spectrale de la cellule: celle-ci par contre est essentiellement variable, non seulement pour les différents types de cellules, mais encore pour les exemplaires d'un même type. De plus la réponse spectrale des filtres tri-stimulus ayant été déterminée par rapport à une cellule standard, à réponse bien déterminée; la mesure sera incorrecte pour toute cellule ayant une réponse différente. D'autre part une sélection se révèle très difficile et surtout très onéreuse.
3. — la réponse spectrale des filtres tri-stimulus: celle-ci a été déterminée nous l'avons dit en fonction d'une réponse de cellule bien déterminée, mais il n'a pas été possible de réaliser avec des filtres en verre coloré une réponse spectrale exactement conforme aux calculs. Je vous présente sur la figure l'écart entre les courbes des coefficients de distribution — trait gras — et celles réalisées avec les filtres — trait fin —. De cet écart résulte une erreur systématique que l'on ne peut éliminer de la mesure.

On peut conclure de cet exposé que les photocolorimètres en particulier, de par leur principe même, présentent de nombreuses sources d'erreurs de mesure fortuites et systématiques. Ce type d'appareil, dans l'état actuel du développement de l'application de la colorimétrie, ne peut plus répondre aux exigences de la mesure.

Deux mesures s'imposent pour remédier à cet état de chose:

- 1 — augmenter la précision de ces appareils
2. — normaliser les caractéristiques de reproductibilité et de concordance des mesures en imposant des tolérances répondant aux exigences de leur emploi.

Le laboratoire de Louvain s'est attaché tout particulièrement à l'étude d'un appareil industriel donnant des garanties certaines de reproductibilité et de concordance, dans les limites de précision souhaitées. Il a abandonné à cet effet la routine habi-

tuelle des photocolorimètres et a créé le spectrophotocolorimètre Lv20, que je vous décrirai ci-après.

Cet appareil comporte une source lumineuse constituée par une lampe de 100 watts légèrement survoltée.

Une lentille L1 concentre l'image du filament sur une fente étroite de 0,2 mm.

L'image de la fente est reprise au foyer de la lentille L2 qui envoie un faisceau parallèle sur le prisme de dispersion P. La lentille L3 reforme le spectre dans son plan focal en M. Les deux lentilles L2 et L3 sont des lentilles achromatiques corrigées.

Un diaphragme D isole dans le faisceau issu du prisme un disque lumineux, dont l'image est reprise par la lentille L4, puis par les lentilles L5 et L6 et reformée sur les étalons et échantillons E1 et E2. Un rochon R polarise la lumière et renvoie le rayon ordinaire polarisé dans l'axe optique de l'appareil.

Ce rayon est repris par un wollaston qui le divise à son tour en deux rayons divergents, symétriques et polarisés inversement.

Un polaroïde tournant éteint alternativement chacun des rayons issus du wollaston et permet par modulation de la lumière d'amplifier l'intensité instantanée enregistrée par la cellule.

Une sphère d'intégration recouverte intérieurement d'oxyde de magnésium intègre les intensités alternatives des deux rayons issus du wollaston. La sphère est munie du dispositif d'absorption de la réflexion spéculaire et l'angle d'incidence des rayons est de $\pm 8^\circ$.

Le rochon R orientable et commandé par le bouton B1 permet de rétablir l'équilibre des intensités dans la sphère. La rotation du rochon est solidaire d'un compteur Cr qui indique avec trois décimales l'angle du plan de polarisation du rochon par rapport aux plans de polarisation du wollaston. Des tables permettent de transposer ces valeurs angulaires en coefficients de transmission ou de rémission.

Le courant débité par la cellule, qui est du type photoélectrique à émission d'électrons, est amplifié par un montage à quatre étages et le signal émit

par la cellule agit sur un moteur de balance pour l'équilibrage au O.

Dans cet appareil les filtres tri-stimulus sont remplacés par des masques qui sont placés dans le plan du spectre et qui délimitent dans celui-ci des ordonnées correspondantes à celles des coefficients de distribution, corrigées par la réponse énergétique de la source lumineuse et par la réponse spectrale de la cellule. Ces masques délimitent par conséquent dans le spectre des faisceaux lumineux recomposés qui reproduisent mathématiquement les lumières primaires d'analyses ambre, vert et bleu du système C.I.E.. Ces masques sont amenés l'un après l'autre dans le champ du spectre et permettent par équilibrage de mesurer par lecture sur le compteur et transposition à l'aide des tables, les valeurs tri-stimulus de la couleur, en tenant compte des relations suivantes:

$$X = 0,98 A$$

$$Y = G$$

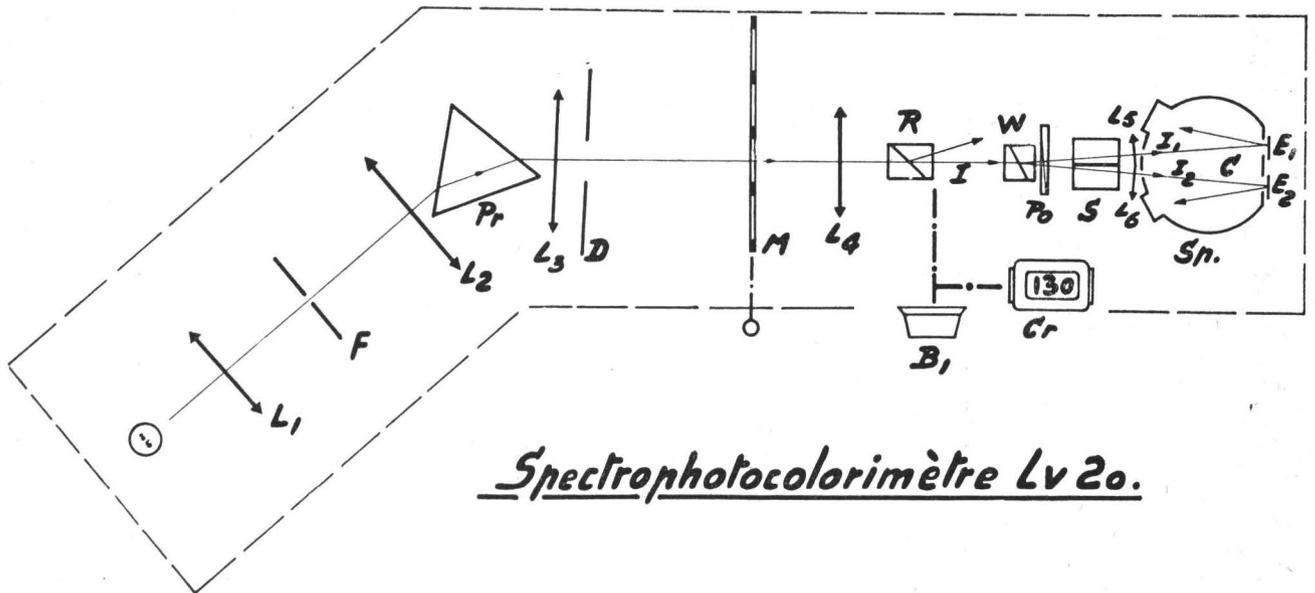
$$Z = 1,18 B$$

La mesure réalisée dans ces conditions donne une limite de reproductibilité et de concordance de l'ordre au 0 0001.

L'appareil est muni d'un quatrième masque comportant des fentes qui isolent sur le spectre des bandes parfaitement monochromatiques de 5 m μ . On peut réaliser rapidement à l'aide d'un sélecteur qui isole chacune des bandes du spectre, une courbe spectrale par points dans 23 longueurs d'onde c'est-à-dire de 10 en 10 m μ entre 400 à 540 m μ et de 20 en 20 m μ entre 540 et 700 m μ . Ce dispositif réalisé photographiquement remplace avantageusement les filtres interférentiels qui sont très coûteux et dont la monochromaticité est très relative.

Cet appareil est très robuste et de manipulation assez simple pour pouvoir être mis entre les mains d'usagers et de laborants non spécialisés dans la technique des appareils de mesure colorimétrique.

Nous espérons pouvoir présenter cet appareil à l'exposition Internationale qui se tiendra à Bruxelles cette année, dans le Palais de la Chimie. Je vous remercie, MM. pour votre très obligeante attention.



Spectrophotocolorimètre Lv20.

MÉTHODES ET APPAREILS PERMETTANT LA MESURE COLORIMÉTRIQUE

par W.-D. WRIGHT

*Technical Optics Section,
Imperial College of Science and Technology, London.*

INTRODUCTION

Dans ce texte, je me propose d'étudier les méthodes de mesure des couleurs pouvant permettre d'établir une définition de couleur dans le système C.I.E. exprimée en coordonnées de chromaticité x , y , et facteur de luminance β ou de petites différences dans ces quantités, Δx , Δy , $\Delta \beta$. Ceci signifie que je ne tiendrai pas compte des méthodes qui ne peuvent donner de résultats qu'à l'aide d'instruments arbitraires, tout en reconnaissant que ceux-ci peuvent avoir une place légitime dans certaines industries et applications où il est nécessaire de contrôler la couleur pour cadrer avec un standard, sans tenir compte d'une quelconque spécification fondamentale de la couleur. Ceci signifie également que je ne désire envisager la spectrophotométrie que comme méthode découlant d'une spécification de couleur, bien qu'il soit essentiel d'avoir des renseignements concernant la composition spectrale des illuminants et la transmission spectrale, l'absorption et la réflexion des couleurs dans les problèmes touchant leur mélange sous-tractif et leur rendement.

Je me propose, en premier lieu, de résumer les besoins des colorimétristes et les conditions qu'ils rencontrent. Puis, je résumerai les diverses méthodes permettant de mesurer les couleurs, enfin j'indiquerai dans quelle limite ces méthodes correspondent aux besoins du colorimétriste.

Cette communication est donc principalement un résumé de l'état actuel de cet art, sans inclusion originale. J'indiquerai, cependant, la direction dans laquelle d'après moi il est nécessaire de diriger les développements futurs, je souhaite et j'espère que d'autres membres du Congrès apporteront leurs suggestions personnelles quant aux problèmes auxquels il y a à faire face.

LES BESOINS ET LES CONDITIONS EN COLORIMÉTRIE

Un des premiers points intéressant le colorimétriste est l'exactitude de la mesure de la couleur pour tout problème particulier. Ceci peut être déterminé par la discrimination visuelle du client qui désire faire un achat contretypant le plus exactement que possible un échantillon référence ou par la nécessité d'obtenir une couleur suffisamment différente d'autres couleurs, comme par exemple pour un système de signalisation ou pour l'emploi d'une couleur comme repérage des différentes phases dans une quelconque fabrication ou procédé chimique ou physique. Nous devons admettre que dans des conditions visuelles optima, l'œil est extrêmement capable de distinguer de petites différences de couleur, de sorte que les mesures de chromaticité, parfois, demandent des précisions, disons de $\pm 0,0003$ en x ou y pour des couleurs vers le centre de la carte de chromaticité. Il y a, cependant, je crois encore un point à régler et

qui vaut la peine d'être discuté: une mesure de couleur doit-elle être faite avec une exactitude absolue de cet ordre ou bien la mesure de petites différences jusqu'à cette limite suffit-elle. Notre réponse à cette question peut influencer le choix d'un instrument de mesure colorimétrique, puisqu'un colorimètre différentiel de haute précision peut être un outil plus sûr qu'un instrument capable d'une très haute précision absolue.

Nous ne devons cependant pas commettre l'erreur de prêter une trop grande attention à une haute précision, puisque, pour de nombreuses opérations une précision tout à fait moyenne sera suffisante. Nous pourrions alors employer un instrument plus simple meilleur marché, demandant moins d'adresse de l'opérateur, plus facile à transporter et plus adaptable aux conditions dans lesquelles il peut être nécessaire d'obtenir des mesures de couleur. Les mesures colorimétriques peuvent s'échelonner depuis celles qui sont enregistrées dans un laboratoire de standardisation nationale jusqu'aux mesures plus rudimentaires et moins précises de fabrication d'usine ou même jusqu'à une tente sous les tropiques, comme dans le cas d'une très intéressante étude sur la couleur des sauterelles dont j'ai entendu parler récemment. Une autre nécessité plus fréquente est la rapidité à laquelle les mesures doivent être obtenues. Le temps est d'une importance économique variable de place en place mais, dans l'industrie, où il est nécessaire de faire chaque jour un très grand nombre de mesures, un instrument qui demande une heure ou davantage pour mesurer une seule couleur est manifestement moins intéressant pour un industriel qu'un instrument grâce auquel on peut obtenir le même résultat en une ou deux minutes.

Les échantillons à mesurer peuvent également énormément varier; ceci signifie qu'un type d'instrument convient à un spécimen, mais ne convient nullement à un autre. Sans aucun doute il est exact que la plupart des mesures commerciales sont faites sur des surfaces teintes ou peintes, mais il y a de nombreux cas dans lesquels une surface peut avoir une texture spéciale présentant de grosses variations de couleur de part en part. Ceci appelle quelque méthode d'intégration ou d'égalisation de la couleur sur la surface, mais si l'échantillon à mesurer est en fait constitué d'un assemblage de petites parties, cette égalisation peut présenter un réel problème optique. En plus des variations locales de couleur l'état de surface peut varier c'est-à-dire être brillant ou mat, ou satiné. Il est bien connu que ceci peut conduire à des différences considérables dans la mesure des couleurs à moins que les conditions d'illumination et d'observation de la surface soient standardisées et contrôlées. Un autre problème spécial se présente lorsque la couleur à mesurer varie avec le temps. Parfois de très petites surfaces doivent être mesurées, ce qui nécessite une sorte de microcolorimètre. La mesure peut être encore plus compliquée si la

petite surface à mesurer ne forme qu'une partie de l'échantillon ce qui fausse le jugement en raison des phénomènes de contraste.

Un autre problème d'une importance croissante est la mesure des colorants et des pigments fluorescents. Il peut se produire dans ce cas de très grosses erreurs sauf si le spécimen est mesuré sous la lumière à partir d'une source d'une distribution d'énergie connue et standardisée, spécialement dans sa partie ultra-violette. Donc la mesure d'échantillons luminescents tels que les phosphores cathodo-luminescents dans un tube de télévision peut nécessiter un type d'appareil différent de celui qui est nécessaire pour mesurer une surface réfléchissante normale.

La formation et l'expérience de la personne qui mesure la couleur peut également influencer sur le choix de la méthode qui lui paraît la plus acceptable. Tous les colorimétristes ne peuvent pas apprécier ou accepter une spécification colorimétrique exprimée en trois chiffres et ils peuvent très raisonnablement préférer une spécification exprimée par quelque représentation visuelle de la couleur. Le colorimétriste peut considérer cette représentation comme un moyen d'expression tendant vers les spécifications C.I.E., mais s'il est raisonnable il reconnaîtra les avantages réels de posséder une spécification qu'il pourra montrer et faire appliquer par le client.

CLASSIFICATION DES METHODES DE MESURES COLORIMETRIQUES

Il est facile de classer les différents types de mesures en deux principales divisions — A. Spectrophotomètres — et — B. Colorimètres. Cette classification est indiquée ci-dessous:

A. Spectrophotomètres

A (1) Non-enregistreur

- (a) Monochromateur simple
- (b) Monochromateur double

A (2) Enregistreur

- (a) Monochromateur simple
- (b) Monochromateur double

B. Colorimètres

B (1) Visuel

- (a) Additif
- (b) Soustractif
- (c) Atlas de couleur

B (2) Photoélectrique

- (a) Photocellule et filtre
- (b) Photocellule et système à cache sur le spectre.

CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES POSSIBILITES INSTRUMENTALES

Chaque type d'instrument a sans aucun doute ses limites; il est donc préférable de les étudier avant de discuter de chaque méthode.

A. Puisque les mesures en spectrophotométrie sont obtenues en dispersant la lumière et en effectuant les mesures pour chaque longueur d'onde du spectre, en contrepartie la quantité de lumière dont on dispose est bien moindre que dans les colorimètres pour lesquels l'échantillon est illuminé par la lumière blanche intégrale de la source lumineuse. Par conséquent, nous constatons qu'en général les spectro-

photomètres souffrent à un degré plus ou moins grand d'un manque de lumière. Ceci signifie que des dispositifs extrêmement sensibles à la lumière doivent être employés et qu'il est nécessaire de capter avec grande efficacité la lumière provenant de l'échantillon. Ainsi, les instruments énumérés dans les chapitres A (1) (a) et A (2) (a) souffrent d'erreurs dues à la lumière parasite bien que dans certains types à monochromateur simple ces pertes soient très limitées. Celles-ci cependant sont très importantes lorsque l'échantillon absorbe fortement une partie du spectre et la transmet ou la réfléchit fortement dans d'autres régions.

Les instruments de la classe A (1) présentent un inconvénient important: les mesures sont longues et fastidieuses bien que pour quelques types de contrôle et de réglage les observations puissent être faites rapidement.

Les instruments figurant au chapitre A (2) sont susceptibles de provoquer des erreurs et des différences lorsqu'on mesure des surfaces semi-mates puisqu'il est difficile de parvenir à une séparation adéquate entre les composants spéculaires et diffus de la lumière réfléchie par la méthode de la sphère intégrante, méthode de réception généralement employée dans les instruments enregistreurs. La mesure des échantillons fluorescents présente également avec ce genre d'appareil des difficultés particulières. Bien que le même problème se pose avec les spectrophotomètres non enregistreurs, ces derniers semblent plus adaptables à la mise en place de l'échantillon à l'entrée de la fente de l'appareil.

B. La principale limite des mesures permises à l'ai-

de des instruments figurant dans la rubrique B (1) est la différence de vision de couleur d'un observateur à un autre. Cet effet est plus marqué, naturellement, lorsqu'il y a un degré élevé de métamérisme entre l'échantillon à mesurer et le contretype. La précision de la mesure peut également se trouver diminuée par la sensibilité limitée de l'œil aux différences de couleur lorsque celles-ci sont observées dans un champ visuel limité et lorsqu'on regarde le viseur d'un instrument. Néanmoins, l'œil est d'une extrême sensibilité aux différences de couleur, en fait, c'est cette extrême sensibilité qui pose de nombreux problèmes en colorimétrie et il devrait être possible d'en profiter dans un colorimètre visuel. Pour qu'il en soit ainsi il faudrait un système d'observation dans lequel les deux champs à comparer seraient séparés par une ligne très nette et vus sous un angle maximum.

Aux mesures visuelles on objecte parfois la fatigue que produisent les observations prolongées. C'est une critique justifiée à moins qu'on prenne le soin de varier le genre de travail de l'expérimentateur; cependant, il ne faut pas oublier que les mesures à l'aide d'un instrument photo-électrique peuvent également faire appel à des observations visuelles de l'aiguille d'un compteur et ceci peut également provoquer des fatigues oculaires.

Pour les instruments figurant sous le chapitre B (2) (a) leur principale limitation est l'impossibilité de combiner le filtre de la photocellule à la sensibilité spectrale adéquate. On peut s'en rapprocher mais la précision absolue n'est pas en général aussi élevée qu'on pourrait le désirer.

En ce qui concerne les instruments figurant au chapitre B (2) (b) la souplesse et le contrôle de la forme de leur cache sont en principe adéquats pour donner au système une sensibilité spectrale correcte. Dans la pratique, cependant, d'après mon expérience, le

maintien de cette sensibilité nécessite de fréquentes vérifications et réglages par un spécialiste.

De ces commentaires généraux on peut constater qu'aucun type d'instrument n'est parfait et qu'au stade de développement actuel on doit choisir avec soin l'instrument qui convient au type particulier de mesure à entreprendre. Dans la section suivante nous allons expliciter les caractéristiques de chaque appareil.

REMARQUES SUR CHAQUE METHODE

Spectrophotomètres: La spectrophotométrie est sans aucun doute la méthode fondamentale permettant de mesurer les couleurs, elle atteint sa plus haute précision lorsqu'elle est à base de monochromateurs doubles non enregistreurs. Ceci a été confirmé dans une récente comparaison en laboratoire faite sur la spectrophotométrie de six plaquettes colorées. Les chromaticités trouvées par calcul à partir de mesures de réflexion faites avec onze spectrophotomètres différents ont révélé une dispersion générale s'élevant parfois à 0,005 ou même à 0,01 en x ou y alors que les instruments à monochromateurs doubles non enregistreurs ont donné, des résultats concordant dans les 0,0005 à 0,001.

Sans vouloir déprécier en aucune façon l'intérêt immense que présentent pour l'industrie les enregistrements par spectrophotomètres, il n'en reste pas moins vrai que considérés comme mesures colorimétriques absolues leur précision peut, parfois, laisser à désirer. Des comparaisons effectuées en laboratoire, des essais industriels récents effectués sur de nouvelles données standard valables pour de vastes domaines ont fourni des exemples de ce dont nous venons de parler. Une autre source d'erreur a été également signalée dans la mesure d'un filtre rouge foncé à transmission minimum dans la partie verte du spectre.

Pour mesurer de petites différences une précision élevée devrait être possible si un spectrophotomètre différentiel pouvait être mis au point. Je sais que le Beckman DK 2 (spectrophotomètre enregistreur) peut être adapté pour les enregistrements différentiels mais je n'ai pas d'expérience personnelle de l'exactitude en tant que limites de chromaticité que l'on peut obtenir. J'ai cependant l'impression qu'il faudrait faire tous les efforts possibles pour mettre au point des instruments de ce genre.

Colorimètres: B (1) (a). Les colorimètres additifs se sont avérés être de très bons appareils pour la recherche sur la vision des couleurs, mais ils ne présentent pas d'intérêt pour les mesures colorimétriques industrielles en raison du métamérisme prononcé qui se produit entre l'échantillon à mesurer et le contre-type. Le colorimètre à trois filtres présente moins cet inconvénient, cependant le métamérisme est encore considérable et le champ de contre-typage de dimension limitée. Bien que ces instruments aient un passé très honorable, leur emploi est maintenant limité, ils ne servent en fait que lorsqu'on ne demande qu'une précision approximative. La mise au point d'un colorimètre à six filtres par Donaldson a fait faire un pas en avant au colorimètre visuel et bien que son réglage ne soit pas facile, la précision des mesures obtenues est de l'ordre $\pm 0,002$ en x ou y . On peut encore probablement en obtenir une plus grande précision si on l'emploie comme colorimètre différentiel pour déterminer les petites différences entre un certain nombre d'échantillons similaires.

B (1) (b). Un remarquable colorimètre soustractif est le Tintomètre Lovibond; il est muni de jeux de

verre calibrés avec précision rouges, jaunes et bleus. Dans un colorimètre soustractif, la couleur du contre-type est, en effet, contrôlée par l'absorption de larges bandes dans les régions vertes, bleues et rouges du spectre et puisque quelque chevauchement des bandes d'absorption dans les trois types de filtre est inévitable la relation des densités des verres par rapport aux coordonnées C.I.E. est moins directe que dans un colorimètre additif. Néanmoins, le Tintomètre est pourvu d'un tableau permettant le cas échéant la conversion en système C.I.E. Dans un colorimètre soustractif le métamérisme est moins prononcé que dans un colorimètre additif surtout lorsqu'il s'agit de contre-typage des surfaces voisines du blanc et dans ce cas il semble que les différences de l'observateur soient moins gênantes. Lorsqu'il s'agit d'examiner, de contrôler des produits d'une gamme de couleurs limitée, on peut obtenir une sorte de comparateur en n'employant qu'un choix restreint de verres du Tintomètre. Ceux-ci ont de plus l'avantage de fournir une représentation tangible de la couleur qui peut être employée par le client qui dispose déjà d'un échantillon. Il apparaît également que le Tintomètre pourrait être utilement adapté aux mesures colorimétriques différentielles de haute précision s'il était possible de trouver un système visuel à champ large.

B (1) (c). La simplicité et la facilité d'emploi d'un atlas de couleur n'ont pas besoin d'être soulignées, les expériences très poussées faites continuellement sur le solide des couleurs de surface, en particulier aux Etats-Unis sur le système Munsell, devraient conduire à un atlas d'un solide très régulier. Comme méthode de mesure des couleurs la précision du contre-typage est limitée par le net intervalle de couleur entre les échantillons de l'atlas bien qu'il soit possible d'interpoler. Il peut cependant se produire quelque métamérisme, source d'erreurs par des différences d'observation, mais ceci sera réduit au minimum pour les couleurs voisines du blanc. Les couleurs d'un atlas ne peuvent être aussi permanentes que des verres de Tintomètre parce que, en vieillissant, elles se défraichissent. Néanmoins elles constituent une méthode extrêmement pratique pour décrire les couleurs superficielles et, à l'aide d'un atlas calibré, on peut, si on le désire, convertir les mesures en système C.I.E. Quelques atlas ont une gamme de nuances trop restreinte et ceci se remarque plus particulièrement au cours d'expériences sur quelques couleurs très vives qu'on rencontre dans la nature, par exemple le plumage des oiseaux et les couleurs des insectes.

B (2) (a). La précision absolue qu'il semble possible d'obtenir avec ce type d'instrument est de l'ordre de 0,005 en x ou y , précision qui convient seulement dans certain cas. Si l'appareil est différentiel on peut obtenir une plus grande précision mais il est intéressant de noter qu'un instrument différentiel donnera de bien meilleurs résultats si l'on emploie le principe de la substitution de préférence à un instrument à double « rayons », les « rayons » respectifs tombant sur deux échantillons presque identiques. Ceci provient de la très grande difficulté de parvenir à une parfaite identité des deux rayons alors que si l'on obtient, d'abord, une égalité entre l'échantillon (1) et l'échantillon référence puis entre un échantillon presque identique (2) et la référence, la différence entre les deux lectures peut donner une mesure très précise de Δx ou Δy . C'est la méthode sur laquelle est basé le colorimètre différentiel « Colormaster », auquel on demande une précision de l'ordre de 0,0002 en x ou y . Cette précision disparaît lorsque des échantillons de couleur simi-

laire mais d'une réflexion spectrale très nettement différente sont soumis à essai. Il est juste d'ajouter que la précision demandée pour des échantillons métamériques est vraisemblablement moindre que pour des échantillons colorés par des mélanges de pigments ou de colorants similaires. Il serait intéressant de savoir si les membres du Congrès sont d'accord sur ce point de vue.

B (2) (b). Avec un colorimètre à cache soigneusement calibré il doit être possible d'obtenir une précision absolue de 0,001 en x ou y si l'instrument a un spectre d'une longueur de plusieurs centimètres. Ainsi qu'il est mentionné ci-dessus, il n'est peut-être pas facile de maintenir ce calibrage, mais il doit être possible de construire un colorimètre différentiel basé sur ce principe pour satisfaire aux exigences de l'industrie.

PERFECTIONNEMENTS A ENVISAGER

Les fabricants d'appareils d'optique et les colorimétristes peuvent à juste titre prétendre qu'il a été possible et qu'il sera possible de répondre à leurs besoins mais seulement à un certain prix. Il est inutile d'espérer pouvoir faire une mesure colorimétrique absolue d'une précision, par exemple de 0,0003 en x et y avec un instrument simple et bon marché, car, en fait, cette précision absolue est à peine pos-

sible avec un instrument quel qu'il soit. Pour parvenir à une standardisation et pour des mesures de cet ordre il faut perfectionner les spectrophotomètres.

Lorsqu'on pourra mesurer les couleurs de référence avec la précision adéquate, la colorimétrie, dans de nombreux cas, pourra être ramenée à des mesures différentielles. Pour ce type d'observation, plusieurs possibilités restent offertes, comme il est indiqué dans la partie précédente. En particulier, il serait souhaitable de voir se réaliser des progrès dans le domaine de la spectrophotométrie différentielle. Aussi, je pense qu'il serait possible d'étendre les méthodes de la colorimétrie soustractive aux mesures différentielles. Il est également certain que le colorimètre photoélectrique différentiel a devant lui un avenir prometteur, soit du type à filtre, soit du type à cache.

Il ne fait pas de doute que de nouvelles méthodes de détection de la lumière par exemple au moyen de transistors ou de techniques de comptage de photons amèneront dans les prochaines dix ou vingt années des changements radicaux dans la conception des instruments. Il faut espérer que ces modifications se feront dans le sens d'une plus grande précision, d'une plus grande robustesse et d'une diminution de prix.

RAPPORT DE LA COMMISSION DE COLORIMÉTRIE DU CENTRE D'INFORMATION DE LA COULEUR

par G. BERTRAND

*Ingénieur à l'Institut d'Optique.
Secrétaire de la Commission de Colorimétrie
du Centre d'Information de la Couleur.*

I. — Introduction.

A la suite du Congrès d'Amiens en juin dernier et sous l'impulsion de l'Association Française de Normalisation, du Centre d'Information de la Couleur, de MM. les Professeurs P. Fleury et Y. Le Grand, et grâce à l'appui d'un certain nombre d'industriels fut créée la Commission de Colorimétrie dont les travaux commencèrent dès octobre 1957.

Le but le plus immédiat que s'était proposé d'atteindre cette Commission était la comparaison des résultats donnés par les divers appareils de mesure de couleurs: spectrophotomètres et photocolorimètres. Parmi ces deux groupes, les principes de mesure employés étant différents — les uns mesurent un facteur de luminance, les autres un facteur de réflexion diffuse lorsqu'il s'agit de matériaux opaques — les résultats qui en découlent présentent des écarts inadmissibles et incompatibles avec les tolérances que requiert la pratique industrielle. Il s'agissait donc de mettre en œuvre une série d'études systématiques permettant de déterminer:

1. — *La corrélation* entre les résultats obtenus:

a — parmi plusieurs appareils d'un même type (c'est-à-dire, utilisant les mêmes principes de mesure).

b — parmi les appareils de types différents.

2. — *La précision* de chaque type d'appareils et de chaque appareil à l'intérieur d'un même type. Le mot précision englobant à la fois la sensibilité de la méthode et la reproductibilité des résultats pour une couleur donnée sans souci de savoir si les résultats sont exacts ou non.

3. — *L'exactitude* c'est-à-dire les écarts entre les résultats de chaque appareil et ceux dérivés de l'application des principes de la Commission Internationale de l'Eclairage.

Avant d'entreprendre ces mesures une enquête préliminaire devait déterminer la variété des appareils couramment utilisés par les laboratoires spécialisés. Elle établit, pour la seule région parisienne l'existence de plus de 30 appareils de 15 types différents:

9 spectrophotomètres

9 spectrophotomètres.

Pour procéder de manière rationnelle à leur comparaison il est indispensable de faire choix d'un certain nombre d'échantillons colorés tests, à la fois transparents et diffusants et répondant aux exigences suivantes:

— stabilité dans le temps

— répartition convenable des chromaticités autour du blanc C de manière à reproduire avec un minimum d'échantillons (15 environ) les teintes courantes.

— courbes spectrales aussi régulières que possible, mais possédant des pentes marquées afin de mettre

en évidence l'influence de la largeur des bandes spectrales des systèmes dispersifs.

— faibles valeurs des facteurs de transmission ou réflexion dans la partie bleue du spectre pour les échantillons oranges ou rouges, afin de montrer la part jouée par la sensibilité du récepteur sur la précision des résultats.

A ces exigences générales on doit en adjoindre d'autres concernant les échantillons diffusants:

— pour une même chromaticité et un même état de surface divers facteurs de luminance (ou de réflexion) devront être réalisés.

Il semble également intéressant de mesurer, d'une part des échantillons confectionnés à partir de pigments identiques, c'est-à-dire possédant même forme de courbe spectrale, et donnant sur l'œil d'observateurs entraînés des impressions colorées voisines; d'autre part des échantillons confectionnés à partir de pigments différents, et par suite ne possédant pas des courbes spectrales identiques, mais dont les impressions visuelles restent les mêmes sous un éclairage convenablement choisi.

La mesure de ces surfaces opaques est rapportée à un étalon de blanc le plus souvent MgO. Il est indispensable que sa confection soit identique d'un laboratoire au suivant. Cela nécessite l'emploi de ruban de Mg de même qualité, l'utilisation d'un même support, la réalisation d'un dépôt de même épaisseur.

II. — Mesures.

Ces trois dernières conditions n'étant pas immédiatement réalisables on a commencé l'étude comparative par la mesure de filtres colorés sur trois spectrophotomètres enregistreurs Hardy de la General Electric, munis de systèmes intégrateurs permettant de connaître, en fin de mesure, les trois composantes trichromatiques X Y Z. Ce sont les résultats obtenus à l'aide de ces trois appareils, désignés par les lettres A, B, C, qui font l'objet de la présente communication.

A et B correspondent à un modèle plus récent que C, le système intégrateur de ce dernier quoique basé sur le même principe que celui des deux autres (de construction américaine) est de construction française. Caractéristiques principales des « Hardy »:

bandes spectrales $\delta\lambda = 10m\mu$
photomètre méthode de zéro.

Les filtres tests, au nombre de 10, sélectionnés de manière à répondre aux exigences exposées plus haut nous ont été prêtés par la Commission Belge de Colorimétrie qui a effectué il y a quelque temps déjà de semblables études comparatives.

La figure 1 représente leurs courbes spectrales, la figure 2 la position de leurs points représentatifs dans le triangle des couleurs, calculés pour l'éta-

lon C; les chiffres entre parenthèses indiquent les facteurs de transmission globaux.

Sur chaque appareil, avant toute série de mesures, on vérifie que les étalonnages: du monochromateur, du photomètre, de l'intégrateur, correspondent, aux tolérances près, aux valeurs indiquées par le constructeur. Cette première condition est impérative, et on ne peut accorder aucune confiance aux résultats de mesures effectuées sur des appareils mal étalonnés.

La figure 2 bis permettra de mieux saisir la manière dont sont conduites les mesures.

Elle représente la sphère intégratrice de l'appareil au centre de laquelle se trouve la cellule. Sur chacune des ouvertures circulaires 1 et 2 on place un étalon de blanc, ces étalons devront être identiques en ce qui concerne leurs propriétés photométriques et spectrales. On a choisi les pastilles de CO_3Mg comprimé fabriqué par le Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers. Le filtre convenablement nettoyé est placé à l'intérieur de l'appareil en (b) près de l'ouverture de la sphère (on notera que le faisceau à cet endroit est légèrement convergent et que l'échantillon est situé dans le plan de l'image du filament de la source de lumière). On attend environ 1/4 d'heure avant de commencer les mesures de manière que la température de l'échantillon se soit stabilisée.

Sur chaque filtre on effectue deux sortes de mesures.

1. — En faisant défiler le spectre de $0,38$ à $0,7 \mu$ à vitesse lente (2 minutes), on note sur le compteur (e) de l'intégrateur les composantes trichromatiques X Y Z. On répète cela 10 fois. Ainsi on peut déterminer le degré de précision des intégrations pour l'état *actuel* de l'appareil.

On relève, en même temps, mais seulement à titre indicatif, la courbe spectrale sur le tambour (c).

2. — On relève, sur le compteur (d) du photomètre, tous les 5 ou 10 $m\mu$ les valeurs: du « Zéro » (flux lumineux nul)

du facteur de transmission « t »
du « 100 » (flux unité) échantillon enlevé.

Ceci permet, compte tenu des variations du « 0 » et du « 100 » de connaître la vraie valeur « t' » du facteur de transmission et par suite de calculer par la méthode des ordonnées équidistantes, pour la source C, les coefficients x, y et T.

III. — Résultats.

Ils seront, chaque fois qu'il est possible, traduits sous forme de graphique.

1. — degré de précision des intégrations.

— Il est excellent pour l'appareil B

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x - x \\ &\quad \begin{matrix} M & M & 0 \\ & M & 0 \\ & & M & 0 \end{matrix} \\ \Delta y &= y - y \\ &\quad \begin{matrix} M & M & 0 \\ & M & 0 \\ & & M & 0 \end{matrix} \\ \Delta T &= T - T \\ &\quad \begin{matrix} M & M & 0 \\ & M & 0 \\ & & M & 0 \end{matrix} \end{aligned} \right\} \approx \pm 0,0003 = \text{écart maximum} \\ \text{par rapport à la} \\ \text{moyenne.}$$

Ces valeurs peuvent atteindre $\pm 0,001$ dans le cas de filtre dont les courbes de répartition spectrale ont des pentes importantes au voisinage de celles des fonctions de distribution.

— Pour l'appareil A

$$\Delta x, \Delta y, \Delta T \approx \pm 0,0005 \text{ pouvant atteindre } \pm 0,001.$$

— Pour l'appareil C les écarts sont plus importants

$$\Delta x, \Delta y, \Delta T \approx \pm 0,001.$$

2. — Comparaison entre les courbes spectrales déduites des mesures λ par λ .

Il y a accord entre les résultats des trois appareils. Pour chaque filtre les trois courbes spectrales sont pratiquement superposables. Cependant pour deux d'entre eux on note un léger décalage. Il s'agit du filtre n° 2 ou des écarts, $\Delta T/T \approx \pm 5/100$ se manifestent au voisinage du maximum, et les filtres n° 4 et 6 qui possèdent une pente importante. La figure 3 montre pour le filtre n° 4 le décalage des courbes dans la partie inclinée laissant supposer une variation dans l'étalonnage en λ d'un ou de deux appareils. Au milieu de la pente le décalage $\Delta\lambda = 2 m\mu$ correspond à une variation $\Delta T/T \approx \pm 1/10$.

A partir de ces facteurs de transmission spectraux, les coefficients trichromatiques x, y et le facteur T calculés tous les 10 $m\mu$ pour la source C par la méthode des ordonnées équidistantes montrent que les écarts maximums entre les trois appareils sont tels que:

$$\Delta x, \Delta y \leq 0,001 \quad \Delta T \leq 0,001$$

Ainsi avec quelque soin apporté dans les mesures et tenant compte des variations du « zéro » et du « 100 » les x, y, T calculés sont reproductibles d'un appareil à l'autre à moins de 0,001.

3. — Comparaison entre les coefficients x, y, T déduits des valeurs relevées sur les intégrateurs.

Les figures 4 et 5 résument les résultats.

	+	Appareil A
symboles	o	» B
	x	» C

Ces points représentatifs sont la moyenne de 10 mesures. D'une manière générale la dispersion est importante.

(fig. 4) filtre n° 1

$$\begin{aligned} \Delta x &= 0,012 \\ &\quad \text{A, B} \\ \Delta y &= 0,012 \\ &\quad \text{A, B} \\ \Delta T &= 0,007 \\ &\quad \text{A, B} \end{aligned}$$

courbe spectrale très régulière, en cloche, de pentes moyennes

(fig. 5) filtre n° 6

$$\begin{aligned} \Delta x &= 0,019 \\ &\quad \text{A, C} \\ \Delta y &= 0,020 \\ &\quad \text{A, C} \\ \Delta T &= 0,017 \\ &\quad \text{A, C} \end{aligned}$$

courbe spectrale très régulière de pente plus abrupte.

Pour les autres filtres les écarts sont moins importants $\Delta x, \Delta y, \Delta T \ll 0,001$, l'accord est assez bon pour les filtres n° 3, 8, 11.

4. — Comparaison entre les coefficients x, y, T déduits des valeurs relevées sur les intégrateurs et ceux calculés tous les $10 \text{ m}\mu$ par l'intermédiaire des ordonnées équidistantes (voir 2).

Les moyennes de ces dernières valeurs sont représentées sur les fig. 4 et 5 par le triangle Δ .

— Pour l'appareil B, les écarts restent extrêmement faibles:

$$\begin{aligned} \Delta x, \Delta y &\leq 0,001 \\ 0,001 &\leq \Delta T \leq 0,006 \end{aligned}$$

— Pour A et C les écarts sont plus importants en particulier pour les filtres 1 et 6.

On peut résumer l'ensemble des résultats sous forme de tableau reprenant les termes de classement indiqués au début de l'exposé: corrélation, précision, exactitude.

à la lettre les indications mentionnées par le constructeur. Il serait illusoire, sous prétexte de gagner du temps, de se contenter d'approximation dans ces étalonnages: le résultat serait d'avance erroné. Ainsi pour les trois appareils A, B, C seul l'intégrateur de B réalisait toutes les conditions contenues dans les tableaux d'étalonnage du constructeur, il est aussi le seul qui donne des résultats en bon accord avec les valeurs théoriques.

Une autre condition aussi impérative est le choix de l'emplacement de l'appareil. Les variations de température, d'hygrométrie conduisent à des écarts non négligeables dans les résultats. Le fonctionnement prolongé chauffe et fatigue l'appareil.

Tous ces détails, les utilisateurs les connaissent mais il est utile de les rappeler afin de ne pas admettre à tort qu'un appareil cher et par suite précis doive donner des résultats exacts quel que soient les conditions d'utilisation. Les résultats se rapprocheront d'autant plus de l'exactitude que le soin apporté à la manipulation et à l'entretien sera grand.

	Précision	Corrélation entre appareils		Exactitude
		courbes spectrales	intégrateurs	
$ \Delta x $	0,0005	0,001	de 0,001 à 0,020	App. B $\leq 0,001$ App. A et C: pouvant atteindre 0,01
$ \Delta y $	0,0005	0,001	de 0,001 à 0,020	App. B $\leq 0,001$ App. A et C: pouvant atteindre 0,01
$ \Delta T $	0,0005	$\leq 0,001$	de 0,001 à 0,020	App. B de 0,001 à 0,006 App. A et C: de 0,001 à 0,006

IV. — Conclusion.

Ces résultats partiels sont insuffisants pour décider du degré de précision et d'exactitude du type particulier de spectrophotomètre utilisé dans les mesures qui précèdent. D'autres essais faits en grand nombre seront nécessaires pour épuiser toutes les conditions de la pratique industrielle. Cependant on peut affirmer qu'il est possible de donner les x, y, T avec trois chiffres significatifs comme le montre la comparaison des résultats déduits des courbes spectrales. Malheureusement une telle méthode de relevé longueur d'onde par longueur d'onde longue et pénible ne peut s'utiliser industriellement.

Puisque les écarts proviennent des intégrateurs le plus grand soin doit être apporté dans leur réglage. La vérification de leur étalonnage doit se faire fréquemment et il est absolument nécessaire de suivre

Cette étude partielle n'est qu'une étape, d'autres vont suivre. Ces mêmes filtres seront mesurés à l'aide de spectrophotomètres de types divers puis à l'aide de photolorimètres. Ensuite, et c'est le cas le plus important parce que le plus souvent rencontré, on effectuera les mêmes séries de mesures à l'aide d'échantillons diffusants d'états de surface divers. Il sera indispensable de régler d'abord la question du choix de l'étalon de blanc, même de manière provisoire.

Mais ces enquêtes seraient de peu d'utilité si elles n'étaient confrontées avec celles entreprises dans d'autres pays et cela le plus souvent possible sans attendre les réunions internationales. Une collaboration existe déjà entre les Commissions française et belge, il serait souhaitable qu'à l'issue de ces journées elle s'étende à d'autres pays par l'intermédiaire de leurs représentants ici présents.

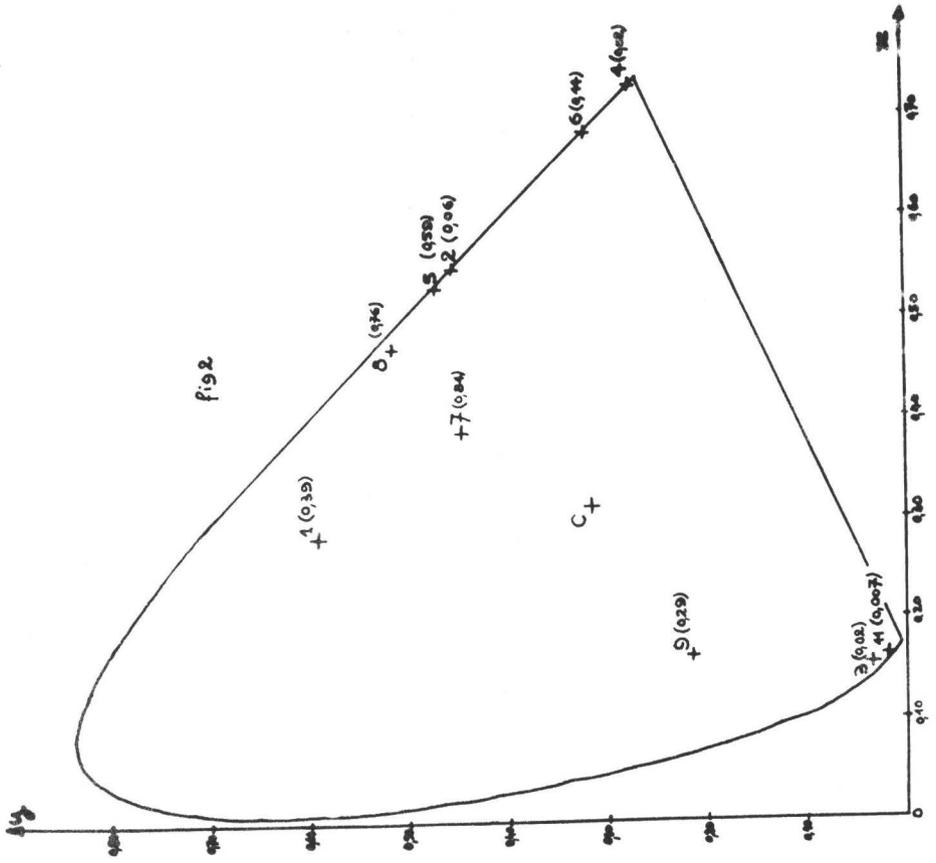
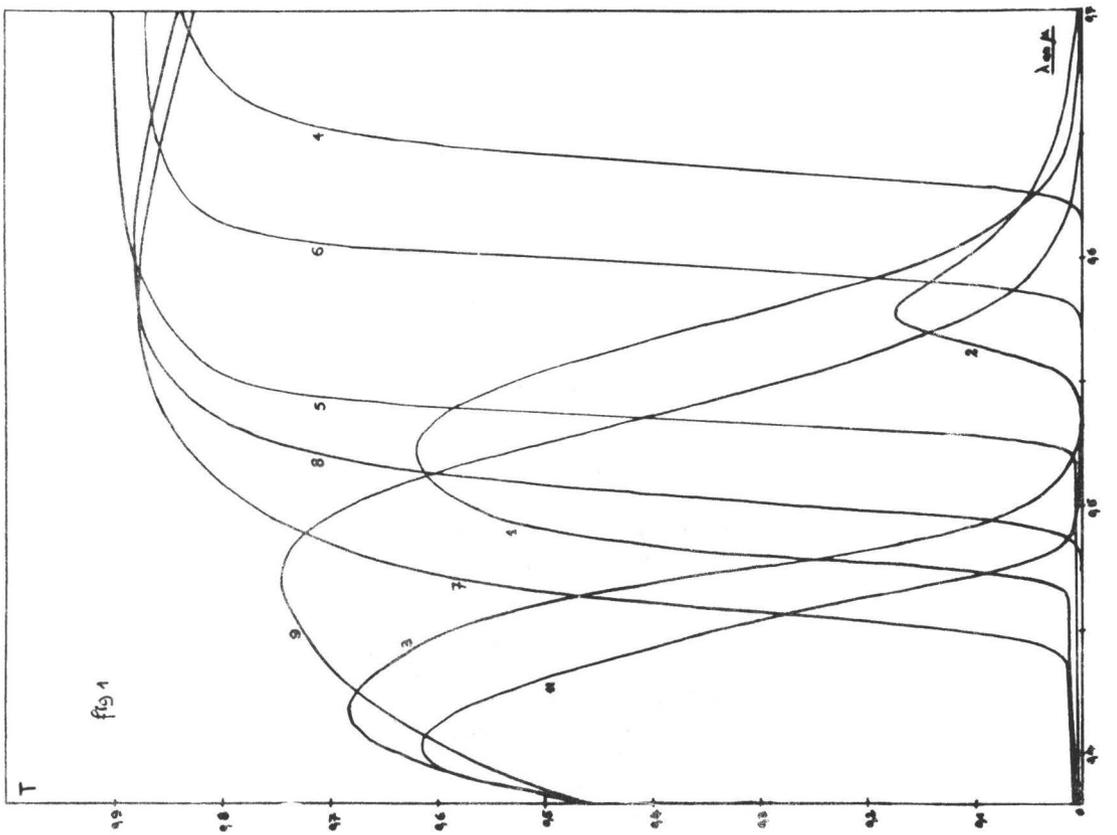
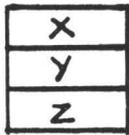




fig 2 bis



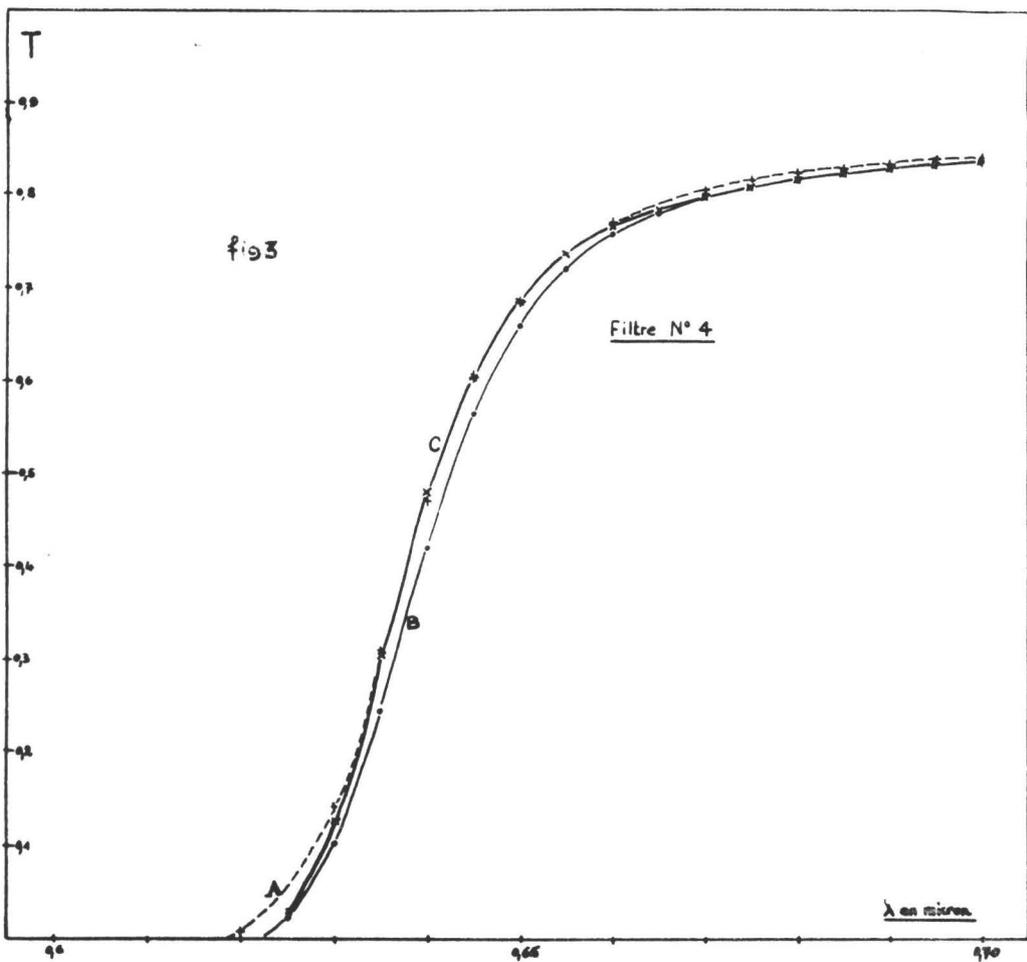
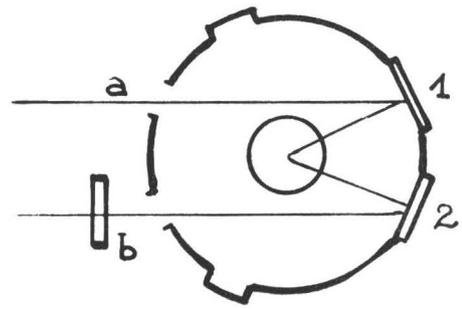
e



d



c







NOTE SUR L'APPLICATION DES FORMULES DE BLANCHEUR

par R. SEVE

Ingénieur-Docteur.

Laboratoires de Recherches Kodak-Pathé

On reprend les méthodes de Selling et de Judd pour l'estimation de la blancheur par leur théorie de métrique de l'espace des couleurs.

On transforme l'équation de Selling pour la rendre immédiatement applicable sans calculs intermédiaires, à partir d'une courbe spectrophotométrique. Notamment on calcule une fois pour toutes, l'influence sur la formule de Selling de la transformation du système de la C.I.E. en système à échelle de chromaticité uniforme (U.C.S.). On montre comment il faut conduire le calcul pour arriver à une formule finale simple.

INTRODUCTION

Les couleurs voisines du blanc occupent en colorimétrie une position à la fois très délicate et très importante. Quoique l'on puisse traiter la colorimétrie de ces couleurs comme dans n'importe quel autre cas, l'importance de leur problème a donné lieu à de multiples solutions, généralement plus ou moins approchées et de ce fait plus ou moins limitées. Citons comme exemple le plus caractéristique de ce fait, la mesure de la blancheur des pâtes à papier et des papiers par une seule mesure photométrique dans la partie violette et bleue du spectre, au environs de 457 m μ . L'intérêt de cette méthode n'est plus à souligner, mais il est non moins évident que cette méthode a un domaine d'application très limité et qu'elle est souvent en défaut.

En ce qui concerne les papiers, les textiles, et les matériaux en feuilles qui nous intéressent plus particulièrement dans cette étude — mais au sujet desquels les études faites ont un très large champ d'application — des travaux très importants effectués d'abord par Mac Adam (1) puis par Judd (2) et ensuite indépendamment pendant la dernière guerre mondiale par Selling (3) aux Pays-Bas et par Judd (4) aux U.S.A., ont complètement renouvelé le problème.

I. — FORMULES DE BLANCHEUR

Nous présentons les travaux de ces auteurs, en nous excusant de les résumer de façon aussi brève, et sans accorder à certains points, apparemment de détail, toute l'importance qu'ils méritent.

L'idée de base de ces travaux est la traduction, par la mesure, de la constatation évidente qu'un corps blanc n'est ni un corps coloré, ni un corps insuffisamment réfléchissant.

Or on sait que toute lumière colorée peut être définie par trois grandeurs et de ce fait représentable par un point dans un système de coordonnées à trois dimensions. Supposons que le système de représentation choisi soit tel que des distances égales en tous points du système — ou au moins dans la zone proche du blanc qui nous intéresse — représentent des écarts visuels égaux. Dans ce système, l'écart de la couleur d'un échantillon avec la couleur blanche, la source d'éclairage étant donnée, peut être mesuré par la distance du point représentatif de la lumière renvoyée par l'échantillon avec le point

représentatif de la couleur blanche. Considérons sur la figure 1 l'espace des couleurs où l'axe OY est l'axe des luminances, où la ligne S représente les couleurs du spectre et W le point représentatif du blanc. Un point représentatif P voisin du blanc est une approximation d'autant meilleure du blanc que la distance PW est plus faible. Et nous pouvons mesurer la blancheur de P par l'expression $W=1-\Delta W$ où ΔW est la mesure de PW avec OW comme unité.

Comme il est habituel de décomposer l'espace des couleurs en une projection plane représentative des chromaticités (plan C sur la fig. 1) et en une échelle des luminosités, on trouve immédiatement:

$$W=1-\sqrt{(\Delta Y)^2+(\Delta S)^2} \quad (\text{Formule 1})$$

où ΔY est la mesure du segment PP' et ΔS la mesure du segment P'W. On admet que l'on peut confondre WP' et WP''.

Il est malheureusement bien connu que la représentation des couleurs de la C.I.E., qui satisfait à beaucoup de conditions, ne satisfait pas à la condition d'uniformité visuelle. Mais il est possible de transformer la représentation des couleurs pour que cette condition soit remplie dans le plan représentatif des chromaticités et au voisinage du blanc. Cette condition est réalisée dans les systèmes U.C.S. Il reste à établir alors une correspondance entre l'échelle des chromaticités et l'échelle des luminosités, ce qui se fait aisément en introduisant dans la formule (1) un coefficient numérique que l'on détermine par l'expérience. De ce fait la formule de blancheur devient:

$$W=1-\sqrt{(\Delta Y)^2+k(\Delta S)^2} \quad (\text{Formule 1 bis})$$

où l'on reconnaît la 2^e formule de Selling (3).

II. — APPLICATION PRATIQUE

Cette formule ainsi que les formules similaires établies par Selling lui-même et par Judd, ont un énorme inconvénient pratique dès que l'on cherche à les appliquer à des exemples concrets.

Nous prendrons le cas d'un étalon de blancheur pour lequel on a déterminé au spectrophotomètre la courbe spectrale de réflexion, et pour lequel on a déterminé par la méthode des ordonnées sélectionnées les trois coordonnées X, Y, Z pour la source étalon C (1).

(1) Rappelons que les formules de Selling ont été calculées pour la source étalon C.

Longueurs d'onde en millimicrons.....	400	420	440	460	480	500	550	600	700
Facteur de réflexion en % de MgO.....	88,0	89,3	90,5	91,6	92,5	93,5	95,7	97,2	98,2

On obtient :

$$X = 0,980 \frac{R_x}{100} = 0,980 \quad . \quad 0,957 = 0,93786$$

$$Y = 1,000 \frac{R_y}{100} = 1,000 \quad . \quad 0,957 = 0,95700$$

$$Z = 1,180 \frac{R_z}{100} = 1,180 \quad . \quad 0,913 = 1,07734$$

A. — Calculons dans le système U.C.S. de Mac Adam les coordonnées U, V, W.

$$U = \frac{2}{3} X \quad U = 0,62524$$

$$V = Y \quad \text{on obtient} \quad V = 0,95700$$

$$W = -\frac{1}{2}X + \frac{3}{2}V + \frac{1}{2}Z \quad W = 1,50524$$

B. — Calculons les coefficients colorimétriques dans ce système :

$$u = \frac{U}{U+V+W} \quad \text{et} \quad v = \frac{V}{U+V+W}$$

on obtient $u = 0,202508$ $v = 0,309961$
 pour la première lumière blanche étalon C on obtient
 $u' = 0,200820$ $v' = 0,307377$

C. — Calculons le carré de l'écart de chromaticité entre le blanc et la couleur considérée

$$(\Delta S)^2 = (u - u')^2 + (v - v')^2 = 9,578 \cdot 10^{-6}$$

D. — Calculons le carré de l'écart de luminosité

$$(\Delta Y)^2 = 1849 \cdot 10^{-6}$$

E. — Calculons enfin la blancheur par la formule (1 bis) de Selling pour laquelle $k=950$

$$W = 1 - \sqrt{1849 \cdot 10^{-6} + 950 \cdot 9,578 \cdot 10^{-6}} = 1 - 0,1046 = 0,8954$$

$W = 0,895$

On constate aussi que si les calculs n'ont pas été conduits avec une extrême précision, en conservant un nombre important de décimales, notamment pour le calcul de u et de v, le résultat définitif peut être considérablement erroné.

En conclusion, la longueur de ces calculs numériques rend très pénible l'application de ce type de formules, et par suite rend peu fréquent leur emploi malgré leur immense intérêt théorique.

III. — CALCUL D'UNE FORMULE PRATIQUE

L'idée n'est pas originale d'effectuer sur des lettres, une fois pour toutes, le détail des calculs que nous venons de montrer avec un exemple numérique précis. Le malheur veut que les calculs deviennent rapidement inextricables et conduisent à des formules extrêmement longues et embarrassées.

Mais si l'on remarque que lorsque $R_x = R_y = R_z$ on a obligatoirement $\Delta S = 0$ on voit l'intérêt qu'il y a à prendre les notations :

$$\begin{aligned} R_x &= 1 - \Delta Y + b \\ R_y &= 1 - \Delta Y \\ R_z &= 1 - \Delta Y - a \end{aligned} \quad (\text{système 2})$$

Les signes sont choisis pour que dans les applications numériques les quantités ΔY , a, b soient positives. Les facteurs de réflexion ne sont pas exprimés en pourcentage.

Les calculs conduits ainsi, se simplifient. On trouve

$$(\Delta S)^2 = \frac{4,44 a^2 + 36,61 b^2 + 12,18 ab}{(1 - \Delta Y - 0,18 a + 0,050 b)^2} 10^{-3} \quad (3)$$

au dénominateur on peut d'ailleurs presque toujours négliger le terme contenant b, et finalement on trouve

$$W = 1 - \sqrt{\frac{4,212 a^2 + 34,79 b^2 + 11,53 ab}{(1 - \Delta Y - 0,18 a)^2}} \quad (4)$$

Si nous reprenons notre exemple numérique précédent on a

$$\begin{aligned} \Delta Y &= 0,043 & a &= 0,044 & b &= 0,000 \\ W &= 1 - \sqrt{\frac{18,49 \cdot 10^{-4} + \frac{81,54 \cdot 10^{-4}}{0,9008}}{1 - 0,1044}} = 1 - 0,1044 = 0,8956 \end{aligned}$$

$W = 0,895$

La méthode est beaucoup plus rapide, offre beaucoup moins de risque d'erreur et conduit au même résultat à la précision des mesures possibles.

Compte tenu de l'ordre de grandeur des différents termes dans les applications numériques, il est même possible d'adopter la formule approchée :

$$W = 1 - \frac{\sqrt{(\Delta Y)^2 + 4,2 a^2 + 35 b^2 + 11,5 ab}}{1 - \Delta Y} \quad (5)$$

En reprenant à nouveau notre exemple numérique

$$W = 1 - \frac{\sqrt{18,5 \cdot 10^{-4} + 81,5 \cdot 10^{-4}}}{0,957} = 1 - 0,1045 = 0,8955$$

CONCLUSION

Il serait possible de tirer de nombreux enseignements de cette formule. Il est possible de faire de pareils calculs également sur les autres formules de Selling et de Judd. Il nous paraît inutile d'alourdir ici cette étude. Nous nous proposons de revenir prochainement sur ce sujet très riche.

Nous espérons avoir contribué à répandre les travaux de Selling et de Judd qui ne semblent malheureusement pas assez connus ni surtout assez utilisés. Cependant le succès de leur théorie et de leurs travaux pour l'estimation de la blancheur comme pour la prédiction de l'azurage n'est plus à démontrer. Il nous semble que les formules pratiques que nous avons calculées aideront à un emploi plus généralisé de cette méthode de calcul de la blancheur, si parlante à l'esprit en raison de sa représentation géométrique.

BIBLIOGRAPHIE

- (1). — MacAdam D.L. — J. Opt. Soc. Amer. 24 (1934) 188.
- (2). — Judd D.B. — Paper Tr. J. 100 (1935) 266.
- (3). — Selling H.J. — Communication n° 75 III c (1949). Vezelinstituut T.N.O. — Delft.
- (4). — Judd D.B. — J. Opt. Soc. Amer. 31 (1941) 462.
- (5). — Selling H.J. et Friele L.F.C. — Whiteness relations and their applications. Appl. Sci. Res. B1 p. 453 (1950). Vezelinstituut T.N.O. — Delft.
- (6). — MacAdam D.L. — Tappi 38 janvier 1955 n° 1 p. 17-24. Conférence au 5^e Congrès annuel de la Tappi. Section Couche.

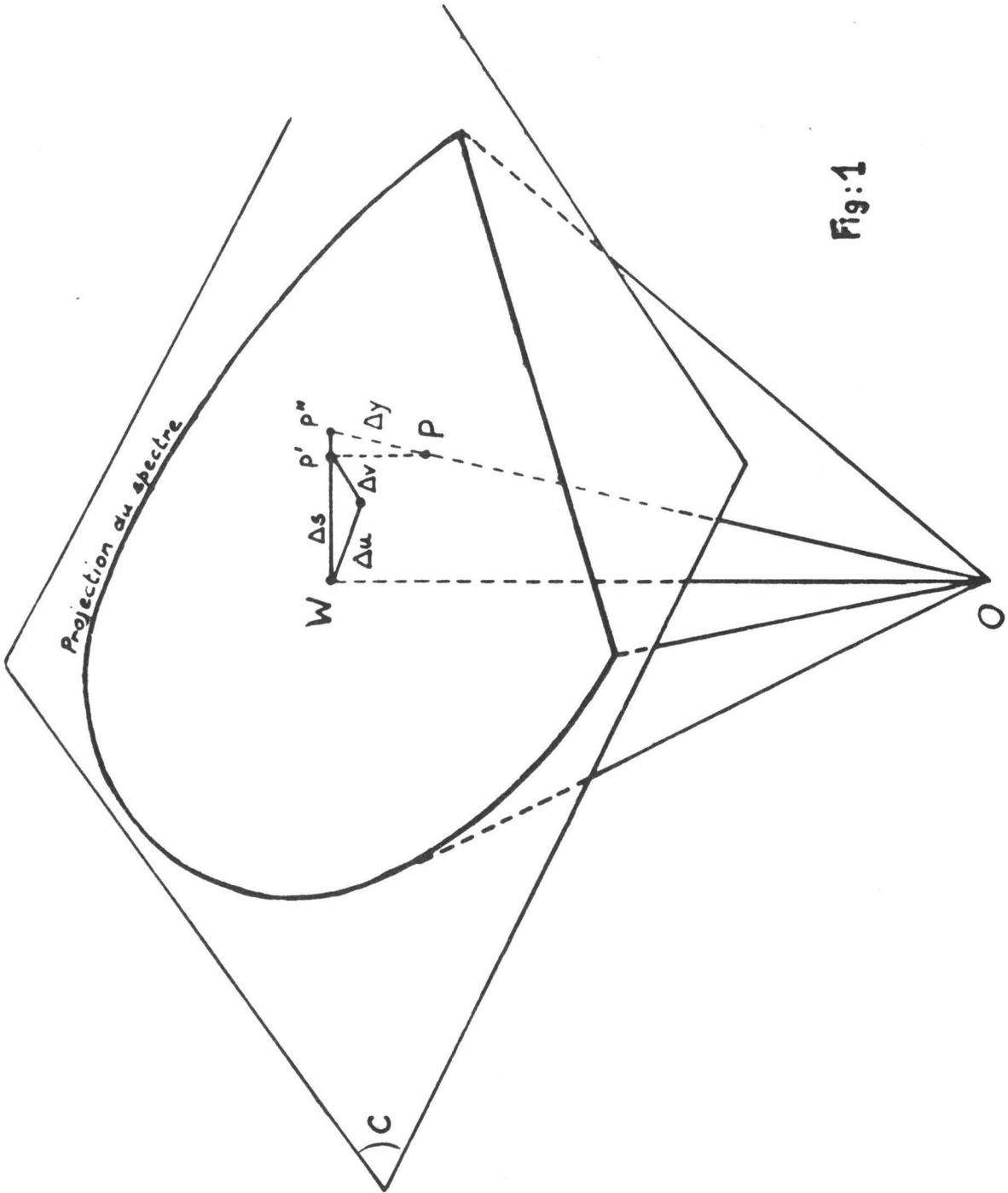


Fig:1

SUR LA PRÉCISION DES MESURES COLORIMÉTRIQUES

par F. BLOTTIAU

Ingénieur à l'Institut d'Optique,
Rédacteur en Chef de la Revue d'Optique.

La détermination des caractéristiques colorimétriques internationales d'une couleur s'effectue le plus souvent à partir d'une courbe spectrale obtenue à l'aide d'un spectrophotomètre; par trois intégrations, on calcule les composantes trichromatiques X, Y, Z, d'où l'on déduit les coefficients trichromatiques x, y par les formules

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}.$$

La répercussion sur ces caractéristiques des erreurs commises dans la mesure spectrophotométrique a été étudiée par Nimeroff (1) qui indique comment calculer des ellipses d'incertitude du plan de luminance constante dans l'hypothèse où l'erreur moyenne est la même pour tous les points de la courbe spectrale. Malgré cette restriction, la mise en œuvre de la méthode de Nimeroff exige des calculs compliqués.

Le procédé de Nimeroff s'applique lorsqu'on calcule les composantes X, Y, Z par la méthode des ordonnées équidistantes. Shipley et Walker (2) ont indiqué comment on peut opérer quand les intégrations sont effectuées par la méthode des ordonnées sélectionnées, mais MacAdam (3) a critiqué ce calcul au cours duquel on se trouve parfois amené à attribuer à la même erreur deux valeurs différentes.

Dans la première partie de cette communication, nous avons exposé un moyen élémentaire d'application générale, qui permet, non seulement d'obtenir par des calculs relativement simples une aire d'incertitude dans le plan x y, mais aussi un volume d'incertitude v dans une représentation spatiale des couleurs, telles que x, y, Y.

Il ne faut pas oublier que ce volume v traduit seulement la précision du spectrophotomètre employé; il n'y a aucune raison pour qu'il soit en relation avec le volume V, centré sur le point E (x^E, y^E, Y^E) représen-

tant une couleur étalon, qui définit les tolérances admises par l'œil dans la reproduction de cette couleur. Divers procédés ont été proposés pour fixer ces tolérances. Celui qui paraît le mieux justifié logiquement est basé sur la détermination des sensibilités de l'œil aux différences de couleurs dans les diverses directions à partir du point E. On obtient le plus simplement ces sensibilités par un ensemble d'équilibrages colorimétriques sur la couleur étalon au moyen d'un colorimètre visuel à mélange de trois lumières fondamentales peu saturées, tel que l'appareil décrit récemment par Bertrand (4) ou, si l'on veut seulement employer des surfaces colorées recevant le même éclairage, celui de Nickerson (5). L'expérience a montré que ces égalisations colorimétriques s'écartent de leur moyenne suivant une loi de probabilité normale de Laplace-Gauss et l'adoption de cette hypothèse permet de calculer l'équation d'un ellipsoïde ζ dont le volume V pourra être directement homothétique, le rapport d'homothétie adopté dépendant de la précision avec laquelle il faudra reproduire la couleur étalon.

Dans la pratique, le calcul de ζ par ce procédé est assez compliqué et nous avons proposé, dans la deuxième partie de cet exposé, une équation relativement simple d'un ellipsoïde ζ' peu différent de ζ ; en particulier, il contient la même ellipse du plan $Y = y^E$.

Lorsqu'une couleur aura été mesurée par spectrophotométrie, c'est seulement si le volume v qui lui correspond est contenu dans le volume V que l'on pourra considérer qu'elle vérifie les tolérances ainsi fixées.

Le détail de ces calculs sera publié dans la *Revue d'Optique*.

(1) I. Nimeroff, *Jl opt. Soc. Amer.*, t. 43, 1953, p. 531 et t. 47, 1957, p. 697.

(2) T. Shipley et G.L. Walker, *Jl opt. Soc. Amer.*, t. 46, 1956, p. 1052.

(3) D.L. MacAdam, *Jl opt. Soc. Amer.*, t. 47, 1957, p. 766.

(4) G. Bertrand, *Rev. opt.*, t. 36, 1957, p. 509.

(5) D. Nickerson, *Jl opt. Soc. Amer.*, t. 21, 1931, p. 640.

LA COLORIMÉTRIE SUBJECTIVE

CONTRIBUTION A LA MESURE DES ÉCARTS DE COULEURS

par G. BERTRAND

Ingénieur à l'Institut d'Optique

I. — INTRODUCTION

La colorimétrie « photoélectrique » a presque complètement remplacé la colorimétrie « subjective » parce que mieux adaptée aux besoins industriels en raison de ses qualités de rapidité, de fidélité et de reproductibilité. Cependant il semble que la colorimétrie « subjective » puisse retrouver l'intérêt qu'elle a perdu lorsqu'il s'agit de résoudre les questions relatives aux tolérances de couleurs. Dans ce cas on compare à un étalon le matériau inconnu. Généralement les écarts de couleurs entre les deux échantillons restent faibles. Une mesure directe au spectrophotomètre ou au photocolorimètre ne peut donner aucun résultat exploitable. Une mesure comparative par rapport à un étalon, à l'aide de ces mêmes appareils, conduit le plus souvent à des résultats non concordant avec les observations visuelles. On sait que ces dernières permettent de déceler des écarts de couleurs très inférieurs à ceux qui résultent de mesures physiques si elles sont effectuées par un observateur entraîné placé dans de bonnes conditions d'éclairage et comparant des échantillons juxtaposés de dimensions moyennes (1). Dans ces conditions quelles sont les exigences requises par un colorimètre visuel? Il en existe deux principales:

a) l'impression visuelle produite par l'échantillon doit rester identique, que celui-ci soit observé à l'œil nu ou par l'intermédiaire du dispositif de mesure.

b) les plus petits seuils différentiels de couleur et de luminance perceptibles à l'œil nu ne doivent pas s'accroître lorsque l'œil observe à travers le système de mesure.

L'exigence *a*, qui implique le choix de la source d'éclairage, montre que le niveau de luminance doit être élevé et le champ d'observation étendu. Elle fixe comme condition de base une observation binoculaire.

L'exigence *b*, nécessite l'obtention d'une grande précision dans les mesures. L'incertitude autour du point représentatif de la couleur dans le diagramme Oxy doit rester inférieure aux plus petits écarts perceptibles autour de celle-ci.

Cette précision, est comme de nombreux travaux l'ont montré (2 à 8), liée à l'état d'adaptation de l'œil qui dépend des trois paramètres principaux suivants: étendue, luminance et couleur du champ visuel.

La précision augmente avec le champ et la luminance et il semble même qu'un minimum d'incertitude puisse être atteint.

D'autre part pour un même observateur, les mesures doivent être reproductibles: ses trois fonctions X, Y, Z responsables de la vision colorée doivent rester fixes ce qui implique la nécessité d'un état d'adaptation constant de l'œil rendant indispensable l'invariabilité des aspects des deux demies plages photométriques du champ de mesure (9).

Cet état d'adaptation constant peut être matérialisé dans le champ de mesure de la manière suivante (fig. 1). La partie A du champ aura une composition spectrale et une luminance invariables. Elle correspond à la couleur étalon qui peut être choisie parmi l'une des trois sources A, B, C définies par le C.I.E. s'il s'agit de mesurer la couleur de matériaux presque blancs. Dans ce cas la plage B qui reçoit la lumière du matériau inconnu diffère généralement

peu en luminance et en couleur de la plage A. Pour rétablir l'identité visuelle entre les deux moitiés du champ il suffit d'ajouter à la lumière de la plage B des lumières additionnelles convenablement choisies, c'est-à-dire peu saturées, de telle sorte qu'en fin de mesure les compositions spectrales de deux demies plages soient pratiquement identiques. On a réalisé ainsi une

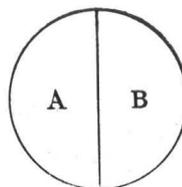


Fig. 1

méthode différentielle, plus précise qu'une méthode directe dans laquelle on mesure uniquement les écarts de couleurs entre un étalon et l'échantillon inconnu. On peut encore améliorer l'état d'adaptation en entourant le champ de mesure d'un vaste champ de couleur voisine et de luminance légèrement inférieure, créant une ambiance artificielle invariable. Pour résumer, on peut dire qu'un appareil de mesure visuel, utilisant le principe différentiel, doit remplir les conditions suivantes: afin de conduire à une meilleure utilisation des possibilités différentielles de l'œil: appareil à vision binoculaire, à grand champ de mesure de luminance élevée, à plage de référence de composition spectrale et de luminance invariables, à lumière fondamentales peu saturées, à champ de contour facultatif de couleur voisine de celle du champ de mesure et de luminance légèrement inférieure.

II. — COLORIMÈTRE TRICHROMATIQUE DIFFÉRENTIEL

Mettant en œuvre une partie des principes énoncés plus haut on a réalisé un colorimètre trichromatique différentiel visuel destiné à la mesure de matériaux presque blancs (10). Il est à vision monoculaire sans champ de contour. L'étendue du champ de mesure est de 8°, la couleur et la luminance de la plage de référence étant invariables. Il comporte deux parties (fig. 2): la partie photométrique 1 et la partie colorimétrique 2.

La source S (lampe Mazda 250 W, 110 V, étalonnée à la température de couleur de 2854° K afin de réaliser l'étalon A) éclaire symétriquement, à travers les cuves à eau O₁ et O₁', sous l'incidence 45°, les deux échantillons placés en A et B au foyer des lentilles L₁ et L₁'.

En A se trouve une pastille E de carbonate de

magnésium qui sert d'étalon; en B se trouve l'échantillon inconnu U.

La lumière diffusée par E et reçue par L₁ subit une réflexion totale sur le cube de Lummer-Brodhun K. Celle diffusée par U et reçue par L'₁ est transmise par ce même cube. A la sortie de celui-ci, les deux

totale P forme l'image de W sur le verre v de la sphère intégrante Ω qui assure le mélange

$$\Delta R + \Delta G + \Delta B.$$

La lentille L₃ forme l'image d'une petite portion N de la sphère en O par l'intermédiaire de M et L₂.

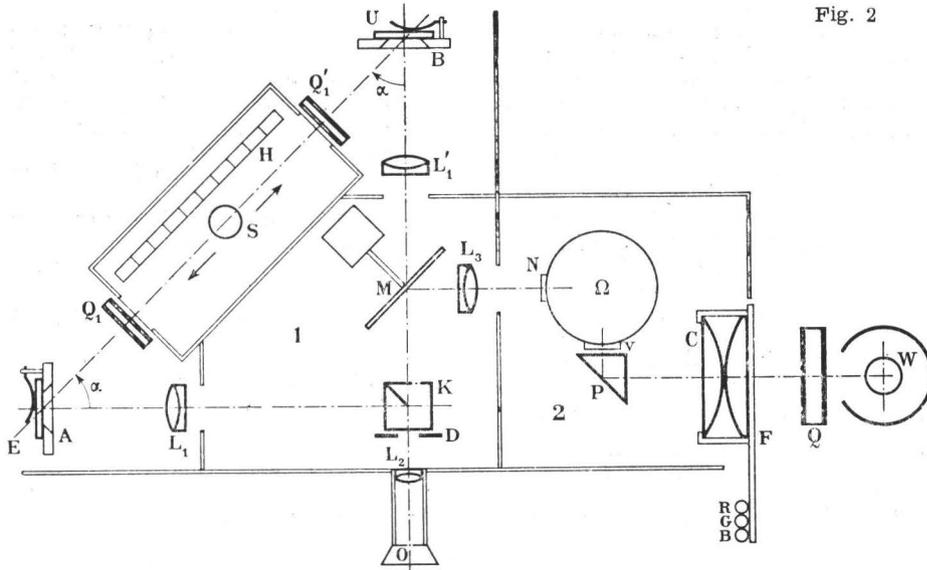


Fig. 2

faisceaux lumineux limités par le diaphragme D traversent la Lunette L₂ dont le foyer coïncide avec l'arête du cube K qui forme en O où se place l'œil des images coïncidentes de chacune des surfaces A et B.

Sur le faisceau provenant de B est interposé un miroir tournant M représenté par la fig. 3 et d'ouverture $\theta=90^\circ$ qui correspond à un facteur de transmission $t=1/2$. Il permet d'ajouter à la

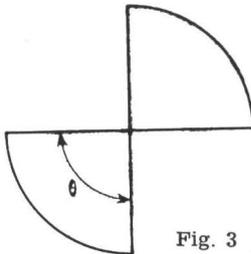


Fig. 3

lumière issue de B les composantes $\Delta R, \Delta G, \Delta B$, de manière à rendre U identique en couleur et en luminance à l'étalon E.

Les composantes additionnelles sont fournies par le système 2 (fig. 2) où la lumière qui provient de W (lampe Mazda 500 W, 110 V) traverse la cuve à eau Ω puis l'ensemble des trois filtres Wratten R, G, B, dont les caractéristiques colorimétriques sous l'éclairage de l'étalon A sont les suivantes:

R: Wratten CC 50 R	G: Wratten CC 50 Q
x = 0,536	x = 0,418
y = 0,373	y = 0,465
T = 0,386	T = 0,525
B: Wratten 78 B	
x = 0,401	
y = 0,390	
T = 0,373	

Le condenseur C associé au prisme à réflexion

Le réglage du mélange s'effectue au moyen des volets I, II, III représentés par la fig. 4 et commandés par les boutons R, G, B.

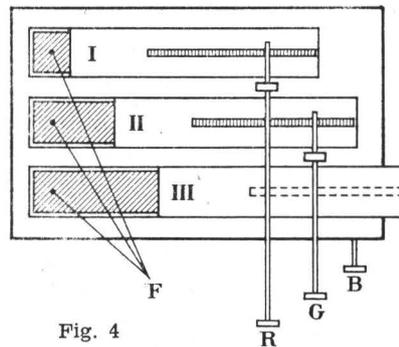


Fig. 4

Ces volets découvrent une portion variable des filtres R, G, B et les quantités de lumières fondamentales introduites sont mesurées par les ouvertures exprimées en millimètres. La précision sur l'échelle de lecture de longueur totale égale à 100 mm est $\Delta l=0,25$ mm.

Les paramètres susceptibles de variations au cours du temps sont: le rayonnement des sources S et W, les facteurs de transmission des filtres F.

Les variations d'intensité de la source S affectent également E et U; celles de W influent sur les composantes additionnelles.

Afin que l'influence de ces variations reste négligeable, les sources S et W sont alimentées par l'intermédiaire des dispositifs régulateurs de tension.

La précision sur les tensions est $\Delta V/V = \pm 0,25/100$. Les variations d'intensité lumineuse qui en résultent sont $\Delta J/J = \pm 1/100$ (11), inférieures aux incertitudes des mesures colorimétriques.

Les variations de répartition spectrale de l'énergie peuvent approximativement se calculer en supposant que la source rayonne comme un corps noir. Un cal

cul simple fait pour la source A montre que les variations de température de couleur sont de l'ordre de $\pm 3^\circ$ K.

En se reportant à la courbe lieu du corps noir dans le triangle des couleurs les variations des coefficients trichromatiques sont $\Delta x = \pm 0,0002$, $\Delta y_{\pm} = 0,0001$, quantités négligeables comparativement à la précision de la méthode.

En ce qui concerne la modification temporelle des filtres F, ceux-ci ont été exposés une vingtaine d'heures au rayonnement de W avant d'entreprendre les mesures afin de les vieillir artificiellement et d'assurer leur stabilité pendant les mesures ultérieures.

III. — MESURES

Elles sont effectuées par six observateurs sur six échantillons réalisés par les Etablissement DUCO et repérés par les lettres B, C, D, F, G, H. Ces échantillons se présentent sous la forme de plaquettes de carton de dimensions 5×5 cm recouvert de peinture brillante blanche.

A cette peinture blanche divers pigments colorés, répartis dans le spectre et dans les pourpres ont été

ajoutés, de manière à situer les coefficients trichromatiques des échantillons autour de l'étalon A.

Visuellement tous ces échantillons paraissent blancs. Certains d'entre eux mis côte à côte semblent identiques. Les mesures faites dans l'obscurité, en pupille naturelle, sont effectuées pour un niveau de luminance $L = 468$ nt après un temps d'adaptation de 5 mn environ.

Les résultats de ces statistiques permettront de déterminer les seuils différentiels de couleur et de luminance juste discernables et de les comparer, d'une part à ceux que fournit la spectrophotométrie, d'autre part à ceux obtenus dans des conditions d'observation différentes:

a) au colorimètre trichromatique visuel de Donaldson,

b) aux colorimètres visuels imaginés par Mac Adam (2) et Brown (7) pour l'étude des seuils différentiels de couleur et de luminance.

IV. — RESULTATS

On peut se poser une première question et se demander comment varient les seuils de chromaticité

TABEAU I

Méthode	Champ de mesure		Champ de contour		Condition d'observation
	Etendue	Luminance (nt)	Etendue	Luminance	
Différentielle.	8°	468	néant	néant	monoculaire
Donaldson.	8°	140	néant	néant	monoculaire
Mac Adam.	2°	47	42°	23	monoculaire
Brown.	12°	44			binoculaire

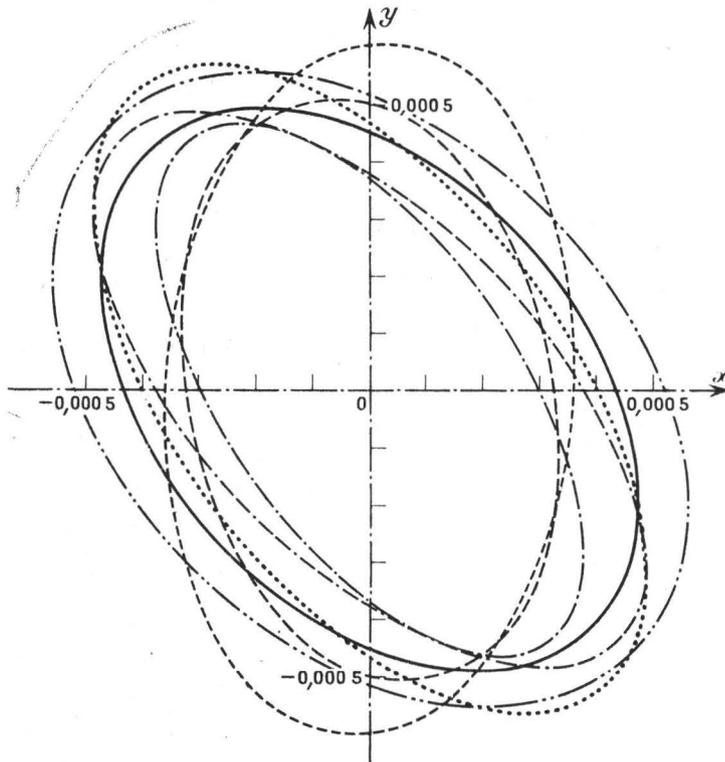


Fig. 5. — Echantillon F : $x = 0,4434$, $y = 0,4091$. Observateurs G.B. (— — — — —), J.M. (- - - - -), J.G. (- . - . -), L.V. (- . . . -), Y.B. (- - . - -), M.A. (.), Moyenne (— — — — —).

d'un observateur à l'autre, comment l'habileté de ceux-ci intervient dans l'étendue de l'aire d'incertitude autour du point moyen représentatif de la couleur dans le diagramme chromatique $x y$ de la C.I.E.. La fig. 5 qui se rapporte à l'échantillon

$$F: x = 0,4434 \quad y = 4091 \quad \rho = 0,94$$

montre la faible variation de l'étendue des seuils suivant les observateurs, on note seulement un changement d'orientation de l'ellipse d'égale chromaticité.

Comparons maintenant, au voisinage du blanc étalon A, les seuils de la méthode différentielle à ceux déduits d'une part de mesures spectrophotométriques, (on utilise dans ce dernier cas la méthode de calcul développée par Nimeroff (12), d'autre part de mesures visuelles effectuées sur d'autres types de colorimètres. Le tableau I résume les conditions de mesures correspondant à chaque méthode.

Sur la fig. 6 on a superposé toutes les ellipses d'égales chromaticités rapportées à l'étalon A; les seuils

positions spectrales identiques des deux plages, les seuils diminuent également dans le rapport 3 lorsqu'on passe de la vision monoculaire à la vision binoculaire avec augmentation du champ de mesure (M à W).

Les ellipses B et W étant identiques pour des conditions de mesure totalement différentes, un colorimètre différentiel binoculaire mettrait en évidence des seuils beaucoup plus petits et peut être inférieurs à ceux attribués à la méthode spectrophotométrique.

Il se peut également que le niveau de luminance d'un tel appareil puisse être réduit sans augmenter les seuils de chromaticité.

V. — CONCLUSION

Une synthèse de tous les résultats acquis montre le gain de sensibilité qu'apporte la méthode différentielle visuelle dans la mesure de couleurs voisines. Ici les expériences ont été effectuées au voisinage du blanc mais on peut aussi bien les envisager pour

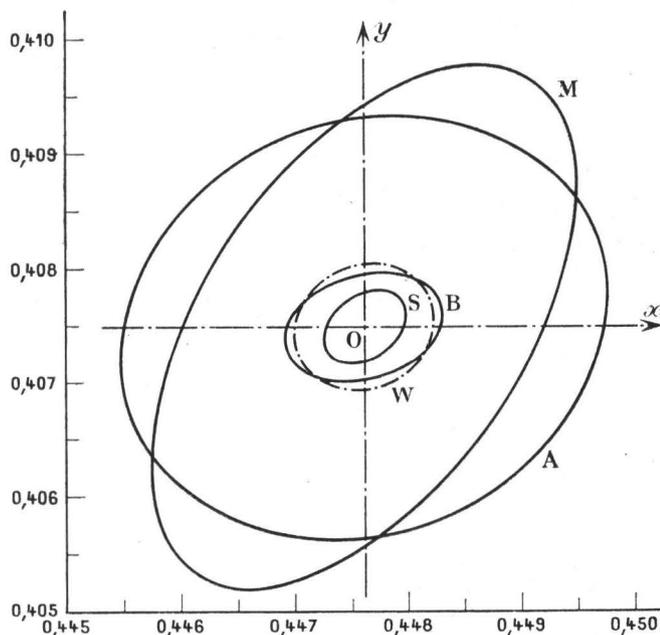


Fig. 6. — M, ellipse obtenue par MacAdam; A, ellipse obtenue au colorimètre de Donaldson pour l'étalon A (moyenne des 6 observateurs); B, ellipse obtenue au colorimètre différentiel pour l'échantillon B (moyenne des 6 observateurs); S, ellipse relative aux mesures spectrophotométriques; W, ellipse obtenue par Brown pour le blanc $x = 0,322, y = 0,332$.

résultant de mesures spectrophotométriques restent les meilleurs.

Les colorimètres trichromatiques à faibles champ de mesure et grand champ de contour pour un faible niveau de luminance (M) et à grand champ de mesure sans champ de contour pour niveau de luminance trois fois plus élevé (A) donnent des résultats comparables.

Aux résultats du colorimètre trichromatique binoculaire à grands champs de mesure et de contour et faible niveau de luminance (W), sont comparables ceux trouvés au colorimètre différentiel à grand champ de contour et à haut niveau de luminance (B).

Pour une même étendue de champ de mesure, les seuils diminuent dans le rapport 3 environ lorsqu'on passe de la méthode directe à la méthode différentielle (A et B), le passage s'effectuant avec augmentation dans le même rapport de la luminance.

Pour un même niveau de luminance et des com-

d'autres teintes. Dans ce cas l'étalon sera coloré et les conditions d'adaptation ne seront plus invariables d'une couleur à une autre. Cet inconvénient est en partie compensé par la méthode différentielle qui rend les deux plages sensiblement identiques en composition spectrale si les lumières additionnelles ont été judicieusement choisies. D'autre part dans les problèmes de tolérances, la valeur absolue, exacte au sens de la C.I.E., du point représentatif dans le triangle des couleurs est d'importance minime, comparée à l'écart entre les points représentatifs de l'échantillon et de l'étalon. Cet écart peut être exprimé dans le système d'unité des lumières additionnelles de l'appareil comme l'a montré F. Blottiau (13). En tenant compte de l'ellipse de discrimination de l'observateur qui effectue la mesure on peut imaginer de repérer la position de l'échantillon par rapport à l'étalon en fonction des trois quantités suivantes:

LA REPRODUCTION DES COULEURS

LES PRIMAIRES DES PROCÉDÉS DITS SOUSTRACTIFS DE PHOTOGRAPHIE EN COULEUR

P. KOWALISKI,

Laboratoires Kodak-Pathé, Vincennes

Il est connu que la synthèse soustractive est à la base de tous les procédés pratiques de photographie et d'impression en couleur, actuellement exploités. L'introduction de la couleur dans les systèmes de télévision a toutefois conduit à la réutilisation de la synthèse additive dans ce domaine qui, de par sa nature, est favorable à la reproduction à l'aide d'instruments de physique, tandis qu'en photographie, en cinématographie et en imprimerie, l'image est obtenue par des processus physico-chimiques auxquels la synthèse soustractive s'adapte plus facilement.

Il a ainsi paru intéressant de comparer à nouveau les rapports entre les deux modes de synthèse, tous deux fondés sur le principe bien connu de Maxwell*.

LE PRINCIPE DE MAXWELL

Rappelons d'abord rapidement ce principe selon lequel la reproduction des couleurs est effectuée en quatre phases distinctes :

1. — Choix des primaires.

On choisit trois couleurs étalons de sorte qu'elles permettent la reproduction du plus grand nombre possible de couleurs. Elles sont évidemment un rouge, un vert et un bleu, comme représentés à titre d'exemple sur la fig. 1. Ces primaires sont ultérieurement employées pour la restitution de l'image colorée.

2. — Etalonnage du spectre.

On détermine ensuite, par égalisations colorimétriques successives, longueur d'onde par longueur d'onde, les fractions lumineuses de chacune des trois primaires, nécessaires pour reproduire les couleurs spectrales (fig. 2). Pour simplifier, nous avons choisi des couleurs spectrales R, V et B comme primaires, mais l'étalonnage peut être effectué pour n'importe quel jeu de primaires R', V' et B', raisonnablement

distantes dans le diagramme trichromatique, et à condition qu'elles restent invariantes, condition essentielle sur laquelle nous reviendrons par la suite.

L'étalonnage du spectre fait apparaître une première difficulté de la reproduction : la nécessité d'introduire dans le faisceau des quantités négatives des primaires.

En effet, si une couleur est trop saturée pour être égalisée par un mélange approprié des trois primaires choisies, l'égalisation colorimétrique ne peut être effectuée qu'après désaturation de la couleur à reproduire. Cette désaturation s'obtient par addition à la couleur d'une faible quantité d'une des trois primaires, et elle équivaut à la soustraction de cette quantité au mélange des deux autres primaires, d'où les parties négatives des courbes de mélanges (fig. 2). L'égalisation colorimétrique d'une couleur située en dehors du domaine des primaires choisies est donc possible dans le colorimètre par sa désaturation à l'aide d'une des primaires, mais elle est irréalisable dans un système de reproduction photographique. Cette limitation est inhérente à tous les procédés additifs et soustractifs fondés sur le principe de Maxwell. Malgré l'invention de procédés de correction permettant apparemment d'y remédier, ceux-ci n'ont jamais été appliqués en pratique, et on réalise la synthèse dans tous les procédés trichromes en omettant sciemment les parties négatives des courbes de mélanges.

3. — Analyse ou sélection des couleurs.

Il s'agit à présent d'analyser photographiquement toutes les couleurs à reproduire conformément aux parties positives des courbes de mélange, en déterminant pour chacune d'elles les proportions de couleurs primaires nécessaires à leur égalisation.

Ceci nous oblige à ouvrir une parenthèse pour préciser rapidement la notion connue de la sensibilité spectrale d'une couche photographique. Elle est fonction de deux facteurs :

- la sensibilité spectrale propre de la couche,
- la distribution spectrale de la lumière employée à son exposition.

* Dans la littérature allemande, ce principe est souvent désigné par le terme : « condition de Luther » (2).

Cette distribution spectrale est à son tour fonction de :

- la répartition spectrale de l'émission de la source lumineuse,
- l'absorption spectrale du filtre employé à la prise de vue.

Graphiquement, l'effet global sera représenté à titre d'exemple par la figure 3.

Pour enregistrer les fractions constituantes des trois lumières primaires pour chaque couleur à reproduire, nous utiliserons donc un système photosensible dont les courbes de sensibilités spectrales globales auront la forme des parties positives des trois courbes de mélange précédemment déterminées. En effet, nous obtiendrons ainsi sur les trois négatifs des densités optiques proportionnelles aux fractions des trois couleurs primaires égalisant la couleur à reproduire. Nous supposons une proportionnalité entre le logarithme de l'exposition et la densité optique obtenue sur les trois négatifs après développement et un contraste global $\gamma=1$, ce qui n'est vrai qu'en première approximation. Cette approximation est toutefois permise puisque la plupart des matériaux photographiques employés pour la sélection trichrome possèdent des courbes caractéristiques pratiquement rectilignes, et puisqu'on s'efforce de situer des images uniquement dans le milieu de la partie rectiligne de ces courbes.

4. — Synthèse ou restitution.

Supposons un système de trois projecteurs permettant la superposition exacte, sur un écran, de trois diapositives. Supposons en plus que ces projecteurs émettent des lumières colorées identiques aux primaires et que leur intensité relative soit réglée de façon à fournir par superposition sur l'écran un neutre visuel. Comme diapositives, nous emploierons des tirages positifs des trois négatifs de sélection décrits dans le paragraphe précédent. Nous supposons encore une fois une proportionnalité — inverse cette fois — entre les densités optiques des négatifs et des positifs, ce qui n'est vrai aussi qu'en première approximation.

Les trois positifs servent à obturer proportionnellement à leur densité les couleurs primaires projetées sur l'écran. Les négatifs ayant été enregistrés avec des sensibilités correspondant aux courbes de mélange, les positifs moduleront les lumières primaires sur l'écran de façon identique à l'égalisation colorimétrique précédemment effectuée. Colorimétriquement, la restitution est ainsi réalisée avec une très bonne approximation pour toutes les couleurs originales qui tombent dans le domaine des primaires données.

SYNTHÈSE ADDITIVE ET SOUSTRACTIVE

L'analogie entre ces deux modes de synthèse a souvent été décrite. On sait, en effet, que les procédés pratiques ont, pour la plupart, comme base la synthèse soustractive, réalisée par observation en lumière blanche de trois images monochromes superposées.

Il ne s'agit apparemment que d'une différence de réalisation pratique. Le raisonnement généralement admis, destiné à démontrer l'identité théorique des deux modes de réalisation pratique, est le suivant : on imagine avoir utilisé pour la quatrième opération de Maxwell, restitution à l'aide des trois projecteurs, non des positifs noir-et-blanc, mais des positifs monochromes, dont la couleur a été choisie pour absorber leur couleur primaire correspondante, et cette primaire seulement. Ces positifs seront donc complé-

mentaires en couleur aux primaires et par conséquent transparents pour les autres couleurs du spectre, et en particulier pour les deux autres primaires. L'effet obtenu sur l'écran ne s'en trouvera pas modifié, puisque la modulation de chaque primaire par son positif sera réalisée comme dans le cas des positifs noir-et-blanc, mais les positifs seront *cyan*, (bleu-vert) *magenta* et *jaune*.

On imagine ensuite la superposition de ces trois nouveaux positifs. Chacun d'eux ne pouvant agir que dans la partie du spectre visible qu'il absorbe, nous pouvons les superposer et les observer en lumière blanche. Ainsi, une fraction rouge de la lumière blanche sera modulée par le premier positif, de teinte cyan (bleu-vert), une fraction verte par le positif magenta, et une fraction bleue, enfin, par le positif jaune.

L'analogie paraît d'autant plus évidente que les trois positifs monochromes employés pour la synthèse soustractive portent des images photographiquement identiques à celles des positifs noir-et-blanc de la synthèse additive.

L'EFFET DE LA VARIATION DES PRIMAIRES EN SYNTHÈSE SOUSTRACTIVE

Etablissons tout d'abord le rapport entre les deux modes de synthèse en définissant les primaires de la synthèse soustractive. Il est facile de montrer qu'elles s'obtiennent en considérant la lumière résiduelle qui subsiste après la superposition des colorants deux par deux (fig. 4, 5 et 6). Lorsqu'on applique ce raisonnement uniquement aux concentrations maxima des encres ou colorants, les primaires qui en résultent possèdent une saturation satisfaisante et le principe de Maxwell peut être directement transposé à la synthèse soustractive, en particulier si celle-ci est réalisée à l'aide de colorants hypothétiques à courbes d'absorptions rectangulaires (block-dyes, fig. 7).

Les procédés soustractifs de la pratique sont toutefois réalisés avec des colorants dont les absorptions ne sont pas limitées à des zones séparées du spectre visible. Ce chevauchement des courbes d'absorptions a pour effet d'introduire de sérieuses perturbations dans le schéma de base que nous venons d'exposer. Ainsi, dans une autre communication, M. Mouchel montre comment, lors de la reproduction d'une plage-objet recevant successivement des éclaircissements de plus en plus faibles, les primaires des procédés soustractifs pratiques perdent graduellement en saturation, au lieu de ne varier qu'en luminosité.

Les primaires ne restent pas invariables pour l'ensemble du processus de la reproduction suivant le schéma de Maxwell, il serait donc nécessaire d'établir un nouveau jeu de courbes de mélange pour chaque échelon de luminosité de la plage-objet.

En effet, des primaires désaturées fourniraient des courbes de mélange à partie positive restreinte et à partie négative très importante (fig. 8). D'autre part, des primaires suffisamment saturées, fournissent des courbes de mélange importantes dans leur partie positive et ne possédant qu'une faible fraction négative (fig. 2). Suivant la saturation de la primaire, les courbes de mélange devraient pour un système soustractif réel varier entre ces deux extrêmes pour chaque échelon de luminosité de la plage-objet, et on devrait ensuite concevoir un système photographique d'analyse à sensibilité chromatique variable suivant la progression des courbes de mélange, ce qui, de toute évidence, ne peut être réalisé.

Heureusement cette difficulté n'intervient que pour les teintes très assombries, et elle est en outre dis-

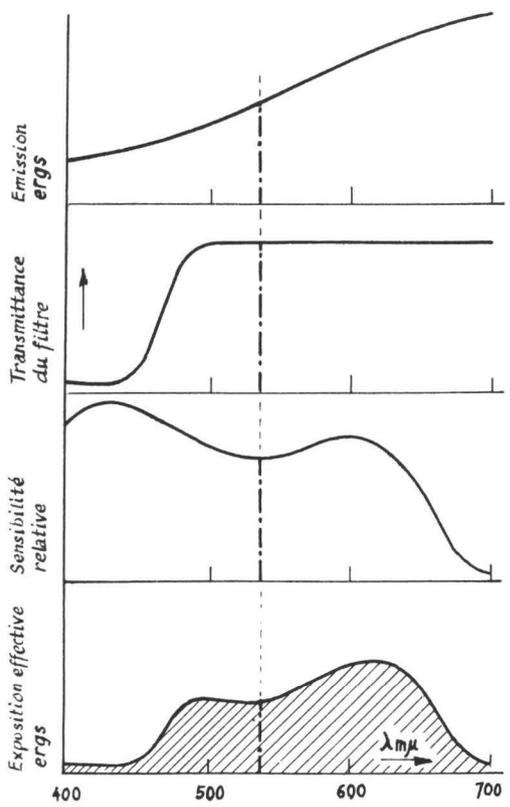
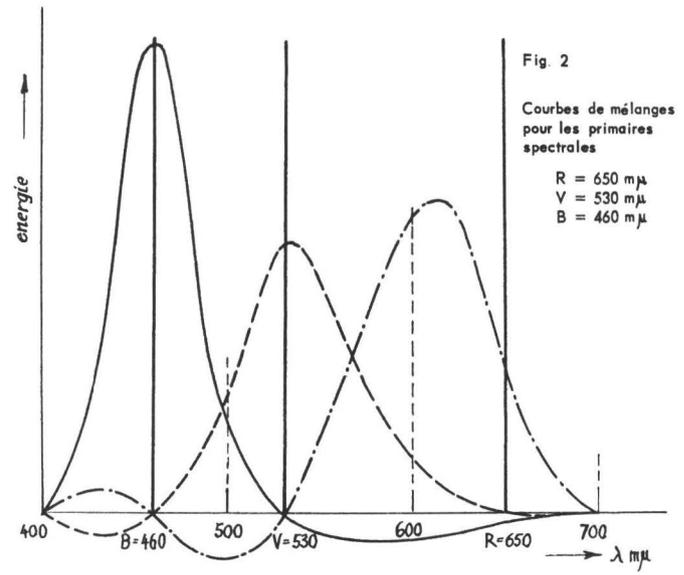
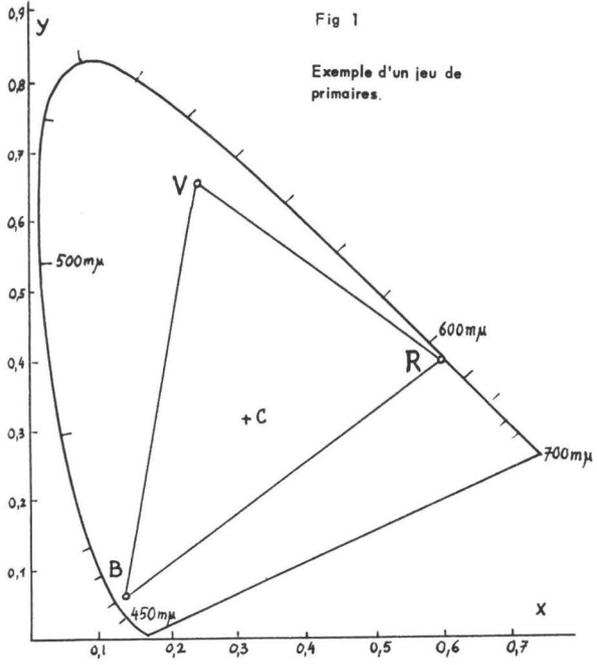


Fig.3 - Sensibilité spectrale d'une couche photographique.

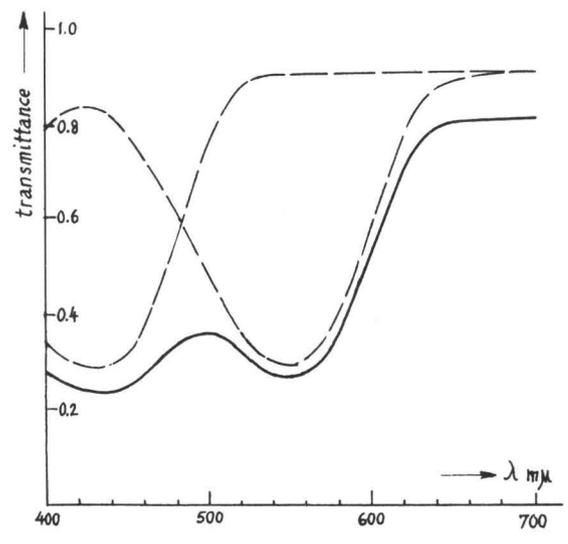


Fig 4 - Primaire rouge de synthèse soustractive obtenue par superposition d'un jaune et d'un magenta

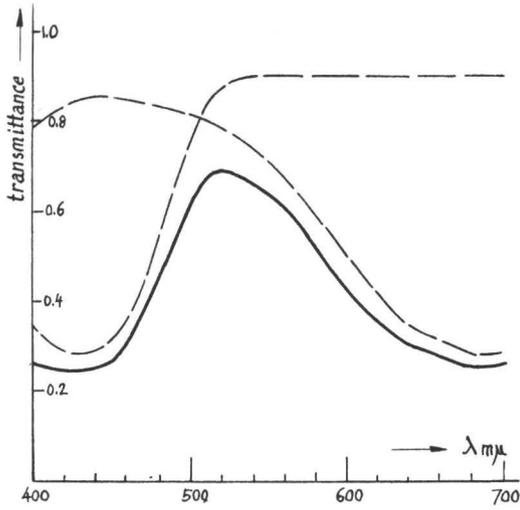


Fig 5 - Primaire verte de synthèse soustractive obtenue par superposition d'un jaune et d'un cyan

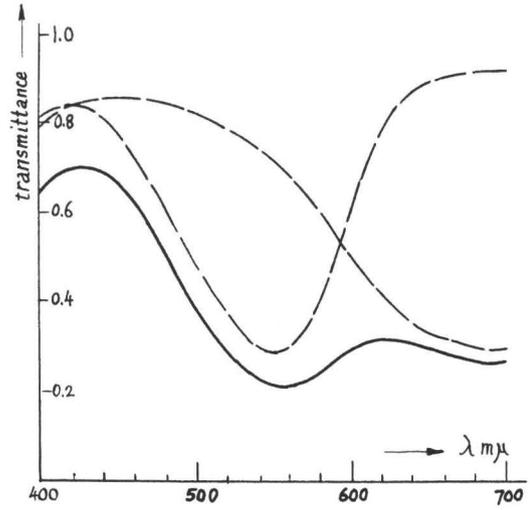


Fig. 6 - Primaire bleue de synthèse soustractive obtenue par superposition d'un magenta et d'un cyan

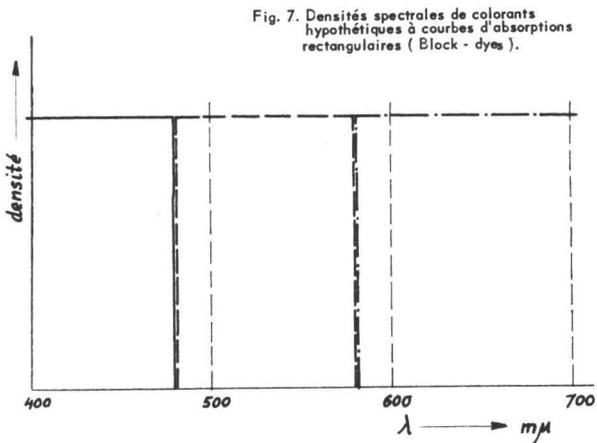


Fig. 7. Densités spectrales de colorants hypothétiques à courbes d'absorptions rectangulaires (Block - dyes).

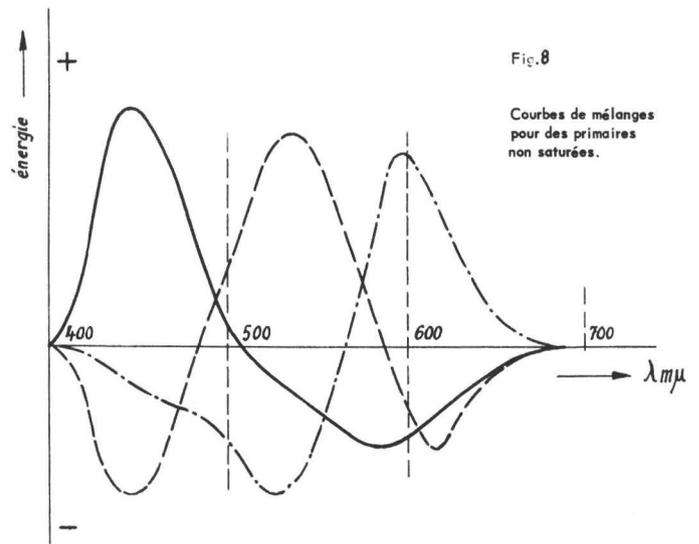


Fig. 8
Courbes de mélanges pour des primaires non saturées.

simulée pour certaines couleurs par des effets purement visuels tels que le phénomène de Bezold-Brücke. Par ailleurs des mesures correctives permettent d'atteindre dans la pratique une reproduction très satisfaisante des couleurs par les procédés soustractifs. On emploie, tout d'abord, dans la mesure du possible, des colorants dont les courbes spectrales d'absorption s'approchent des courbes des « block-dyes ». Dans certains procédés photographiques modernes les colorants atteignent en effet un degré de pureté colorimétrique qui élimine une partie des difficultés théoriques signalées. D'autre part, l'emploi de plus en plus généralisé des corrections par masques, sous forme de coupleurs colorés (Eastmancolor, Kodacolor) ou d'effets inter-images (Ektachrome, Kodachrome) corrige le reste d'absorptions indésirables. Enfin, un ajustement judicieux des contrastes photographiques du processus global permet d'atteindre une meilleure séparation des couleurs.

Tout ceci explique pourquoi les procédés soustractifs modernes peuvent fournir des résultats pratiques parfaitement satisfaisants tout en ne se conformant pas entièrement au raisonnement rigoureux employé pour expliquer le mécanisme du procédé additif idéal.

POSSIBILITES D'ETUDE DU SYSTEME SOUSTRACTIF PRATIQUE

Tentant d'appliquer directement le principe de Maxwell à l'explication du mécanisme des procédés soustractifs pratiques, nous nous sommes heurtés à la non-constance des primaires. Sachant toutefois, comme nous l'avons dit déjà, que les procédés soustractifs fournissent d'excellentes reproductions des couleurs, il semble nécessaire d'élaborer une théorie plus générale rendant mieux compte de la réalité

physique des résultats obtenus couramment en matière de reproduction des couleurs.

De nombreux travaux ont déjà été entrepris dans ce sens, mais ils ont en général été orientés vers la solution de problèmes particuliers, ou destinés à améliorer des procédés en cours de mise au point.

Pour compléter ces efforts, et surtout pour expliquer plus complètement le mécanisme des procédés soustractifs pratiques, il faudrait introduire dans notre raisonnement le facteur à priori secondaire des formes réelles des courbes d'absorption des colorants de synthèse.

L'observation des reproductions en couleurs étant effectuée, d'autre part, dans des conditions très différentes de celles couramment employées en colorimétrie, il serait intéressant d'effectuer des mesures dans des conditions s'approchant particulièrement de celles de la pratique. Des travaux récents de Mac Adam, Hunt et d'autres auteurs ayant à nouveau souligné l'importance des effets d'adaptation, il semble indiqué d'étudier les conditions opératoires permettant de tenir très largement compte de l'adaptation locale, de l'adaptation à divers champs environnants très lumineux, et de l'influence d'autres facteurs pouvant avoir un effet sur l'évaluation pratique d'une image colorée.

Les résultats colorimétriques obtenus à l'aide d'un tel mode opératoire pourraient alors servir de base à notre raisonnement. Ne négligeant plus dans celui-ci les facteurs apparemment secondaires de la synthèse soustractive pratique, il devrait ainsi être possible de compléter la théorie qui sert à présent de base aux procédés pratiques.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) **MAXWELL** : The Scientific Papers of James Clerk Maxwell - 1, page 445.
- (2) **LUTHER** : Z. Techn. Phys. 8 (1927) 540.

DIFFÉRENCES FONDAMENTALES ENTRE LA REPRODUCTION DES SATURATIONS DES COULEURS PAR LA SYNTHÈSE ADDITIVE ET PAR LA SYNTHÈSE SOUSTRACTIVE

P. MOUCHEL

Laboratoires Kodak-Pathé, Vincennes.

Les premiers procédés de reproduction photographique des couleurs utilisaient surtout le principe additif qui était alors le plus réalisable pratiquement. Par la suite, la découverte du développement chromogène a entraîné l'utilisation généralisée du système soustractif, qui, par opposition à l'additif, permet une exploitation facile, sans appareillage spécial ni pour l'analyse, ni pour la synthèse.

Cependant, des tentatives de réalisations additives réapparaissent périodiquement dans le domaine cinématographique. Ces tentatives échouent en général car elles se heurtent à des difficultés pratiques et en particulier à la nécessité d'un système de projection spécifique à très haute intensité lumineuse. Mais leurs promoteurs mettent en avant une restitution des couleurs théoriquement meilleure.

De fait, toutes choses égales par ailleurs, les systèmes réels de synthèse additive est soustractive différent d'une façon fondamentale dans la restitution des saturations.

LE SYSTEME ADDITIF IDEAL

Dans un système additif hypothétique parfait, les sensibilités chromatiques du film de prise de vue correspondent exactement aux régions positives des courbes de mélange des primaires de synthèse. Ceci est possible, au moins théoriquement, puisque ces primaires sont parfaitement définies et réalisées en général par des sources lumineuses filtrées. Le domaine de couleur restitué est une aire triangulaire dont la position et la dimension sont fonction des primaires choisies. A l'intérieur de ce triangle, la chromaticité d'un point coloré est déterminée par le rapport des intensités des trois primaires (coefficients trichromatiques, r , v , b) alors que la luminosité est la somme des luminosités des trois primaires (tristimuli R , V , B). Puisque l'on peut modifier à la fois et indépendamment les rapports et les valeurs absolues des primaires, on peut régler indépendamment la chromaticité et la luminosité des couleurs reproduites. Ceci est caractéristique d'un système idéal de *synthèse additive où qualité et quantité de la lumière sont deux variables indépendantes*. Les couleurs originales sont reproduites avec leur longueur d'onde dominante, mais avec une pureté plus ou moins diminuée selon leur position par rapport aux primaires. La modification du troisième attribut colorimétrique, l'intensité lumineuse, n'affecte en rien les deux premiers, longueur d'onde dominante et pureté, dans les limites de reproduction photographique correcte des valeurs. Le point représentatif, dans un diagramme trichromatique, d'une couleur reproduite, peut être plus ou moins éloigné du point représentatif de la couleur originale, mais il est fixé, (comme c'est déjà le cas dans la nature) dans la mesure où le

niveau d'intensité lumineuse ne sort pas des limites de reproduction photographique correcte des valeurs.

Choisissons un exemple fort courant au cinéma: au cours d'une prise de vue, la jeune première en robe verte apparaît au fond de la scène et s'avance vers la caméra jusqu'en position de gros plan. Par suite de la répartition des éclairages sur le plateau, la quantité de lumière qui frappe la robe verte croît progressivement depuis le « très sombre » jusqu'au « presque éblouissant ». Au cours de ce déplacement, la couleur verte subit une modification continue de luminosité, tandis que les deux autres paramètres, longueur d'onde dominante et pureté, ne varient pas. Visuellement, il est possible que varient la teinte et la saturation puisque ces deux attributs physiologiques sont fonction de l'intensité d'éclaircissement, mais ceci ne nous intéresse pas ici.

Le procédé additif donnera de la robe verte une image dont la chromaticité sera réglée par les rapports des trois primaires: une forte quantité de vert, une faible quantité de bleu, une faible quantité de rouge. Cette chromaticité sera plus ou moins éloignée de la chromaticité originale. Ceci sera fonction du système de primaires employés. En général, la longueur d'onde sera assez fidèlement conservée, la pureté sera plus ou moins altérée. Mais, ce qui est significatif, *c'est que cette chromaticité demeurera constante quel soit le niveau d'intensité*, pour autant que l'on ne sort pas de la zone d'intensité où les différences de brillances du sujet sont proportionnellement reproduites.

LE SYSTEME SOUSTRACTIF PRATIQUE

Le propre des systèmes pratiques employant la synthèse soustractive est de moduler simultanément par le jeu d'un lot de trois colorants, la qualité et la quantité de lumière. La qualité, par les rapports des trois colorants utilisés, la quantité, par les densités de ces colorants. Quant au principe, ceci est identique à la synthèse additive, mais en pratique les systèmes réels présentent une limitation grave: les colorants, n'étant plus les modulateurs inertes de la synthèse additive, font intervenir leur chromaticité dans la restitution des luminosités. De ce fait, *qualité et quantité de la lumière ne sont pas des variables indépendantes dans les systèmes pratiques de synthèse soustractive*.

Avant d'étudier les caractéristiques de ces modulateurs — les colorants — pris un par un, deux par deux ou tous ensemble, il faut signaler une difficulté qui peut prêter à équivoque quand on compare les synthèses additive et soustractive.

En synthèse additive, *chaque modulateur* (positif de sélection + source de lumière primaire), pris isolément, agit sur l'intensité d'une primaire (bleu, vert

ou rouge), *les intensités des deux autres primaires étant nulles*. C'est ainsi que l'échelle des densités croissantes d'un seul modulateur produit une gamme de chromaticités allant de la couleur primaire (bleu, vert ou rouge) jusqu'au noir. Deux modulateurs produisent ensemble une gamme de chromaticités allant de la couleur secondaire (jaune, magenta ou cyan) jusqu'au noir. Les trois modulateurs, à densité égale, produisent ensemble une échelle de gris allant du blanc au noir.

En synthèse soustractive, *chaque modulateur* (colorant + source de lumière blanche), pris isolément, agit sur l'intensité d'une primaire (bleu, vert ou rouge), *les intensités des deux autres primaires étant maximum*. De ce fait l'échelle des densités croissantes d'un seul modulateur produit une gamme de chromaticités allant du blanc jusqu'à la couleur secondaire (jaune, magenta ou cyan). Deux modulateurs produisent ensemble une gamme de chromaticités allant du blanc jusqu'à la couleur primaire (bleu, vert ou rouge). Les trois modulateurs, à densité égale, produisent ensemble une échelle de gris allant du blanc au noir.

Ces deux derniers paragraphes — où l'on a repris à dessein les mêmes mots — montrent que l'on ne peut pas établir une comparaison terme à terme entre les deux modes de synthèse. Ce n'est qu'au stade définitif — jeu simultané des trois modulateurs — que la comparaison est possible.

Système monochrome

Les colorants tels qu'ils sont employés dans certains procédés photographiques suivent très raisonnablement la loi de Beer. Ils changent de chromaticité avec l'épaisseur de la couche teintée (ou la concentration). Etant peu dichroïques, ils ne changent que faiblement de longueur d'onde dominante, mais leur pureté varie continuellement dans des proportions importantes. Les courbes de la figure (1) représentent la variation de la transmission spectrale énergétique d'un colorant bleu en fonction de la concentration. Alors que la concentration augmente, la densité visuelle (proportionnée à la quantité de lumière absorbée) augmente, la longueur d'onde dominante se déplace légèrement vers les courtes longueurs d'onde et la pureté (proportionnée au rapport de la quantité de lumière absorbée dans les régions verte et rouge à la quantité de lumière absorbée dans la région bleue) augmente. Ceci conduit à figurer un colorant par un lieu sur le diagramme de chromaticité. Sur la figure (2) chacun des points du lieu BW de ce colorant bleu correspond à une valeur de concentration, donc aussi à une valeur de densité. La saturation et la luminosité varient en sens inverse dans le système soustractif à un seul colorant.

Système bichrome

Si un colorant peut être représenté par une courbe dans l'espace des couleurs, les mélanges de deux colorants peuvent être figurés par une surface dans ce même espace. La figure (3) montre la surface lieu des mélanges de deux colorants respectivement magenta (pourpre) et jaune. Les courbes WJ et WM sont les lieux des colorants pris séparément, WR est le lieu du mélange des deux colorants en proportions égales, JRM est le lieu des mélanges présentant le maximum de concentration réalisable. On a représenté également sur la figure les lieux des mélanges 1/2 et 1/3.

L'ensemble des mélanges de deux colorants est donc susceptible de restituer un très large domaine

de couleur, mais comme précédemment, il y a une correspondance bi-univoque entre la chromaticité et la luminosité. Pour chaque chromaticité, le mélange permet une et une seule valeur de la densité visuelle. Une représentation telle que celle de la figure (3) possède un caractère assez factice, en ce qu'elle prétend présenter les couleurs réalisables. En fait, les concentrations de colorants nécessaires pour reproduire les couleurs les plus saturées peuvent être si élevées que, visuellement, ces couleurs se confondront avec le noir. Plus important que le domaine total de restitution est la densité correspondant à chaque chromaticité. Aussi faut-il compléter la figure par le tracé des courbes isopaques (égales densités) et borner le domaine par une frontière d'utilisation pratique qui sera un isopaque compris entre 1,5 et 3 selon le procédé photographique envisagé.

Si l'on revient à l'exemple précédent, le procédé soustractif bichrome est susceptible de restituer fidèlement la teinte de la robe verte. Mais, si l'on veut respecter la reproduction photographique des intensités lumineuses (rendu des valeurs), on est tenu de voir la saturation varier continuellement au cours du déplacement de l'actrice depuis une valeur correcte relativement élevée, jusqu'à une valeur nulle. La robe verte sera convenablement saturée là où elle sera sombre; par contre, elle apparaîtra complètement blanche là où elle sera très lumineuse, en position de gros plan.

Si l'on voulait, dans un tel système soustractif bichrome, obtenir une restitution exacte des saturations, il faudrait concevoir un procédé paradoxal sans rendu de valeurs, dans lequel les plages colorées ne seraient reproduites que par leur chromaticité, avec une densité arbitraire. De tels procédés, qui ont été tentés, donnent un résultat beaucoup moins significatif que ne le fait la traditionnelle photographie en « noir et blanc » où les plages colorées sont reproduites par leur densité, avec une chromaticité arbitraire. On voit ici la primauté du rendu des valeurs sur le rendu des couleurs.

Système trichrome

En ce qui nous concerne ici, au point de vue de la reproduction des saturations, l'adjonction d'un troisième colorant au système soustractif bichrome est à la fois sans intérêt et déterminante. En effet, le domaine restitué par les mélanges possibles de trois colorants est sensiblement la somme des domaines restitués par les colorants pris deux à deux. Chaque chromaticité à l'intérieur du domaine total, peut donc être reproduite par la combinaison de deux colorants à l'exclusion du troisième, suivant une synthèse bichrome choisissant deux colorants dans un jeu de trois. La luminosité maximum compatible avec chaque chromaticité est la luminosité liée à cette chromaticité dans le mélange bichrome correspondant. C'est en ceci que le troisième colorant n'ajoute rien au rendu des saturations.

Mais ce troisième colorant permet d'assombrir chaque chromaticité d'une manière continue et illimitée jusqu'au noir absolu. Soit une plage colorée reproduite en P sur le diagramme de la figure (4) par la combinaison en proportion convenable des colorants cyan et jaune. A cette chromaticité P correspond inéluctablement une densité visuelle. Si l'on veut diminuer cette densité — augmenter la luminosité — on est amené à diminuer la concentration des colorants (en en conservant le rapport) ce qui diminue par le fait même la saturation (trajet PP'). Au contraire, si l'on veut augmenter la densité — abaisser la luminosité — on est amené à élever la

concentration des deux colorants. Ceci élève également la saturation, mais il est alors possible d'ajouter une quantité du troisième colorant, le magenta, telle que le point représentatif revienne en P (trajet PP'P) retrouvant la chromaticité originale avec une densité visuelle plus forte.

Alors que le système bichrome reliait sans variation possible la pureté et la densité, l'adjonction d'un troisième colorant sépare ces deux variables. Le système trichrome permet la restitution de chaque chromaticité à tous les niveaux de densité, avec toutefois une limitation, un seuil : *pour une pureté donnée, la plus faible densité obtenue est réalisée par le mélange bichrome*. Presque paradoxalement, le système trichrome, s'il permet la rupture du couple pureté-densité, ne peut que limiter la valeur des saturations reproduites.

LA REALITE SOUSTRACTIVE

Il est bien évident qu'un système soustractif réel n'est pas libre de jouer avec les proportions des trois colorants d'une manière aussi souple que ce que nous venons de suggérer. Mais ceci était indispensable pour appréhender ce qui se passe réellement.

En synthèse additive idéale, pureté et densité sont indépendantes, parce que les modulateurs — positifs de sélection argentiques — sont spectralement inertes.

En synthèse soustractive pratique, les modulateurs sont des colorants qui présentent une courbe d'absorption spectrale donnée. Ils ne sont pas spectralement inertes et, de ce fait, densité et pureté sont liées.

Pratiquement, un colorant soustractif présente une zone d'absorption nettement tranchée du côté des grandes longueurs d'onde, ce qui n'est pas le cas du côté des courtes longueurs d'onde : absorption indésirable plus ou moins importante. Il présente un maximum d'absorption dont la position spectrale varie plus ou moins avec la densité. Sa courbe d'absorption spectrale manifeste une variation avec la concentration (c'est-à-dire avec la densité) qui s'écarte plus ou moins de la loi de Beer. Des influences mutuelles entre les colorants se manifestent au cours de l'utilisation; on les classe sous le nom de contaminations (contaminations de tirage, contaminations de développement) et d'effets interimages. Enfin *la relation densité-lumination est perturbée parce que toute émulsion photographique possède une caractéristique non indéfiniment rectiligne, avec déformation dans les faibles densités (pied) et dans les fortes densités (épaule). De ce fait la relation pureté-lumination est perturbée à fortiori. Ce dernier point est également vrai en synthèse additive et nous ne nous y arrêterons pas.*

De tous les faits énumérés ci-dessus, rien n'est vraiment caractéristique de la synthèse soustractive. Aussi, dans une première étude, il faudrait utiliser des colorants parfaits sans absorptions indésirables et sans variation de la position du maximum. Il faudrait posséder des films parfaits sans influences mutuelles des colorants, sans défauts de rendu des valeurs.

On a vu plus haut les systèmes soustractifs hypothétiques monochrome et bichrome. Dans la pratique, il faut conserver ces mots, mais dans une toute autre acception. L'objet coloré à reproduire possède une réflexion spectrale qui, pondérée par l'émission spectrale de l'illuminant, donne une caractéristique susceptible d'affecter 1, 2 ou 3 des trois sensibilités chromatiques du film de prise de vue. Si

l'objet n'affecte qu'une sensibilité — cas exceptionnel d'un objet ou d'un illuminant quasi-monochromatique — on a à la projection deux colorants au maximum de densité, le troisième, variable, servant de modulateur d'intensité. Si l'objet affecte deux sensibilités — cas où plus d'un tiers du spectre visible est absent de la réflexion spectrale — on a à la projection un colorant au maximum de densité, les deux autres, variables, comme modulateurs d'intensité. Si l'objet affecte les trois sensibilités — cas le plus fréquent — les trois colorants participent à la modulation.

On retrouve ainsi les mots « monochrome », « bichrome » et « trichrome ».

Reproduction monochrome

- Deux colorants fixés au maximum de densité,
- Un colorant modulateur: exemple figure (5).

On constate une relation densité-pureté, inverse de celle observée dans le cas du système monochrome.

En supposant que la robe verte considérée ci-dessus soit d'un vert tel qu'il n'affecte qu'une sensibilité (vert arlequin très pur) comment sera-t-elle restituée? On verra la saturation varier continuellement au cours du déplacement de l'actrice, mais, parfaitement neutre là où elle sera très sombre, la couleur verte se saturera à mesure que la densité diminuera, atteignant une saturation maximum là où elle sera très lumineuse.

Cette opposition apparente avec ce que nous avons dit du système monochrome se comprend parfaitement si l'on pense que le colorant qui module ici le vert est celui-là même que l'on retrouverait dans un système monochrome magenta. Les effets sont alors inversés, comme on peut le voir sur la figure (6).

Reproduction bichrome

- Un colorant fixé au maximum de densité,
- Deux colorants modulateurs: exemple figure (7).

Nous observons, et pour les mêmes raisons, les mêmes phénomènes qu'au précédent paragraphe, c'est-à-dire la relation densité-pureté en sens inverse de celle du système bichrome. Voir figure (8).

Reproduction trichrome

- Trois colorants modulateurs.

Dans ce cas nous possédons un objet dont la réflexion spectrale est telle que les trois sensibilités du film de prise de vue sont atteintes. Nous supposons pour fixer les idées qu'il s'agit d'un vert peu saturé affectant fortement l'émulsion sensible au vert et à un degré moindre les émulsions sensibles au bleu et au rouge. A la reproduction, on trouvera une certaine quantité de magenta et des quantités plus grandes de jaune et de cyan. Ces quantités sont variables puisqu'elles dépendent du niveau d'éclairement de l'objet, mais *leur rapport est constant* puisqu'il est directement lié à la courbe de réflexion spectrale de l'objet.

On trouvera par exemple — figure (9) — les combinaisons :

densité jaune=4 densité magenta=3 densité cyan=4
 densité jaune=3 densité magenta=2 densité cyan=3
 densité jaune=2 densité magenta=1 densité cyan=2
 densité jaune=1 densité magenta=0 densité cyan=1
 à mesure que croît la lumination de l'objet (en admettant un rendu de valeur parfaitement linéaire).

Avec ce choix de valeurs, la reproduction est re-

présentée sur la figure (10), courbe AB. Sur la même figure, on a porté le lieu chromatique du mélange équidense jaune-cyan et celui du magenta seul. Le point A (jaune=cyan=4 magenta=3) représente la reproduction de l'objet vert au minimum de luminance; il s'agit pratiquement d'un noir. Le point B (jaune=cyan=1 magenta=0) correspond au maximum de luminance. On retrouve les résultats précédents (page 33): pour une pureté donnée, la plus faible densité réalisable est obtenue par le mélange bichrome. Entre ces deux extrêmes, la saturation varie dans le même sens que la densité, comme il en était pour les reproductions mono et bichromes précédentes. Toutefois la variation est ici beaucoup moins importante. On trouve également sur la figure (10) les reproductions (CD, EF et GH) d'objets verts — affectant toujours les trois sensibilités du film de prise de vue — de plus en plus saturés. La relation pureté-densité y suit les mêmes lois.

La robe verte, supposée maintenant d'un vert lavé de blanc, apparaîtra à la projection d'autant plus saturée qu'elle sera plus lumineuse. Au cours du déplacement de l'actrice, la variation de pureté sera relativement faible, mais plus ou moins grande selon les jeux de trois colorants utilisés pour la synthèse.

Qu'est-ce qui règle l'importance de cette variation de pureté en fonction de la densité? On conçoit que ce soit les caractéristiques réciproques des trois colorants en présence et qu'un choix convenable de ces colorants puisse la réduire au minimum. Pour l'interpréter, il faut introduire la notion du « neutre » réalisé par les combinaisons des trois colorants à densité égale. En général, si le système est correct, cette combinaison est à peu près achromatique quel que soit le niveau de densité. Dans tout mélange trichrome, il est alors possible de distinguer deux parts:

- un « neutre » représenté par le mélange des trois colorants en quantités égales à celle du moins dense d'entre eux;
- une « chromaticité » représentée par l'excès des deux colorants les plus denses par rapport au troisième, ou, ce qui revient au même, par rapport au « neutre ».

Avec cette interprétation, la reproduction trichrome d'un même objet à des niveaux d'éclairement différents correspond à une « chromaticité » constante associée à des valeurs variables de « neutre ». Si la saturation varie avec la densité, c'est donc que le « neutre » en est responsable, et l'on montre en effet que les variations de pureté sont d'autant plus grandes que le « neutre » est plus sélectif, c'est-à-dire plus éloigné d'une absorption spectrale équiénérgétique.

LA DIFFERENCE ADDITIF-SOUCTRACTIF

On peut supposer deux systèmes trichromes, l'un additif, l'autre soustractif, tels qu'ils restituent exactement le même domaine de couleurs. Dans ces conditions, toutes choses étant égales par ailleurs, à chaque saturation originale, l'additif fera correspondre une certaine pureté, constante, avec toutes les valeurs d'intensité lumineuse possibles, depuis le noir total jusqu'à l'éblouissement compatible avec la source de projection. A une même saturation originale, le soustractif fera correspondre une gamme de puretés, variables avec le niveau d'intensité lumineuse. Aux fortes intensités correspondront les plus fortes puretés, aux densités élevées, les plus faibles puretés. Un même objet sera reproduit par autant de saturations différentes qu'il possède de niveaux

d'éclairement différents. Cette gamme de pureté — évidemment indésirable — prendra un caractère particulièrement accusé dans le cas des objets hyper-saturés, dont la réflexion spectrale n'atteint qu'une ou deux des trois zones de sensibilité du film de prise de vue.

Ces considérations semblent démontrer la faiblesse du système soustractif. Or il n'en est rien, et la haute qualité, vérifiée quotidiennement par chacun, de certaines productions soustractives à l'écran, ou sur papier, le montre amplement: dans la plupart des cas, les possibilités du soustractif dépassent largement les besoins.

LES POSSIBILITES D'AMELIORATION

Par ailleurs, le fabricant de surfaces sensibles dispose d'une série de procédés pour améliorer le système. Ces moyens sont souvent des compromis, favorisant la restitution des saturations aux dépens d'autres qualités, subjectivement moins importantes.

— Il est possible, en particulier, de modifier les sensibilités spectrales du film de prise de vue. Celles-ci sont théoriquement définies par les parties positives des courbes de mélange des colorants de restitution. Si on les altere en les rendant plus étroites, plus séparées les unes des autres et plus pures, en un mot si on conçoit un film de prise de vue à sensibilités plus « sélectives » que lesdites courbes de mélange, on obtient un accroissement des saturations par rapport aux luminosités. Ce gain est d'ailleurs payé par une distorsion du rendu des couleurs provoquant entre autre la séparation des paires métamériques.

— Un accroissement des saturations maximum peut être atteint par une modification des colorants de restitution, rendus plus sélectifs, avec un minimum d'absorptions indésirables. L'amélioration apportée ainsi est considérable. Mais la conséquence fâcheuse est une grande sélectivité des « neutres » ce qui accroît la variation des saturations avec la densité.

— En élevant le contraste du procédé photographique, on augmente les saturations. Le système, très bénéfique, est à peu près universellement employé. Il en résulte évidemment une altération plus ou moins accusée du rendu exact des valeurs.

En pratique, ces trois possibilités sont utilisées simultanément sous forme de compromis. Mais la solution théorique — nous l'avons laissé entrevoir plus haut — serait de posséder un système de colorants tels qu'ils forment par combinaison un « neutre » absolument non sélectif. On s'en rapprocherait avec des colorants à absorption très large et se chevauchant largement, mais sans bénéfice puisqu'on restreindrait alors d'autant le domaine des couleurs reproduites. La combinaison théoriquement parfaite, à laquelle on a souvent donné le nom de « système idéal » utilise les colorants que MacAdam (Eastman Kodak) a baptisés « block-dyes » (colorants-blocs) dont on trouve un exemple figure (11). Avec un tel système, le neutre est totalement non sélectif et la saturation est entièrement indépendante de la densité. On a donc résolu toute difficulté quant au chapitre du rendu des saturations puisqu'on est ramené aux lois du mélange additif. Reste alors aux chimistes à réaliser de tels colorants!

Il n'est toutefois pas prouvé qu'entre plusieurs systèmes possibles le « système idéal » soit le plus satisfaisant pour l'œil, et l'on pourrait conclure par ces mots de Evans et Hanson dans la préface de

leurs « Principles of Color Photography » : ... the complexities of the interrelations among the variables are so great that color photography *must* be developed empirically.

On est obligé de relever une opposition apparente entre les conclusions du raisonnement colorimétrique, purement physique, et les faits. Le raisonnement met en évidence les défauts du système soustractif, tandis que le spectateur se déclare satisfait des images qu'on lui présente. Il y a certainement un effort à faire pour appliquer la colorimétrie à la vision des images colorées, car on ne peut en aucun cas confondre la reproduction des « couleurs » régie par des lois physiques, et la reproduction des « scènes colorées ». Dans ce dernier domaine, on voit intervenir des considérations aussi complexes et subjectives que le souhait du spectateur, le désir du

public, influencés par l'habitude, le goût et l'effet psychologique du sujet représenté. La reproduction des scènes colorées n'appartient pas seulement au domaine de la colorimétrie, mais aussi au domaine de l'art, ... ou de la statistique.

BIBLIOGRAPHIE

- EVANS : An introduction to color - chapitre XVII.
EVANS, HANSON et BREWER : Principles of color photography - chapitres X, XIII et XIV.
LE GRAND : Optique physiologique - tome II, chapitre VIII.
EASTMAN KODAK COMPANY : Kodak Wratten filters.
MACADAM : The theory of the maximum visual efficiency of colored materials - Journal OSA, 25, pages 361-367.
CLARKSON et VICKERSTAFF : Brightness and hue of present day dyes in relation to colour photography - Journal of Physical Chemistry, 88 B, pages 26-39.
MACADAM : Colorimetric analysis of dye mixtures - Journal OSA, 39 pages 22-30.
-

Fig (5)
Reproduction monochrome
Absorption des colorants

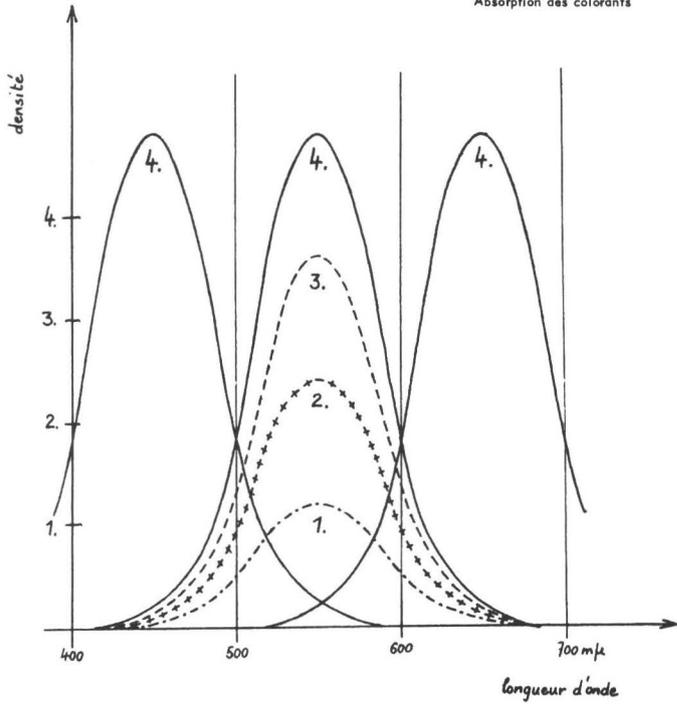
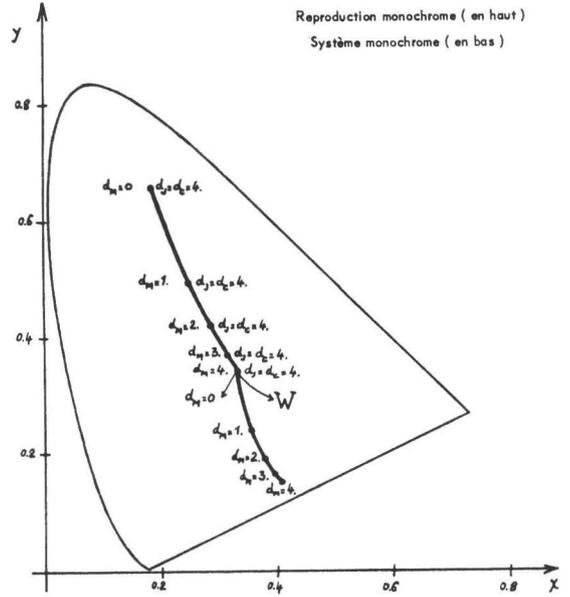


Fig (6)

Reproduction monochrome (en haut)
Système monochrome (en bas)



Fig(7)
Reproduction bichrome
Absorption des colorants

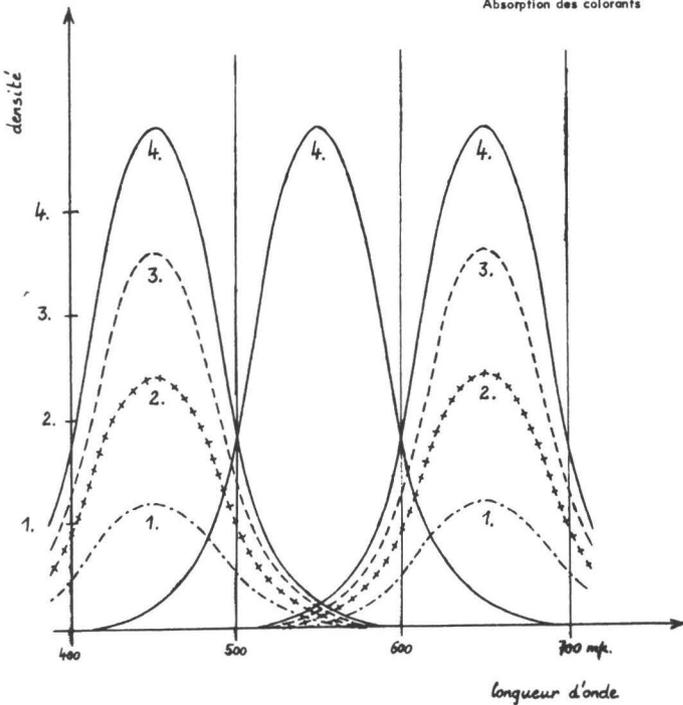


Fig (8)

Reproduction bichrome (en bas)
Système bichrome (en haut)

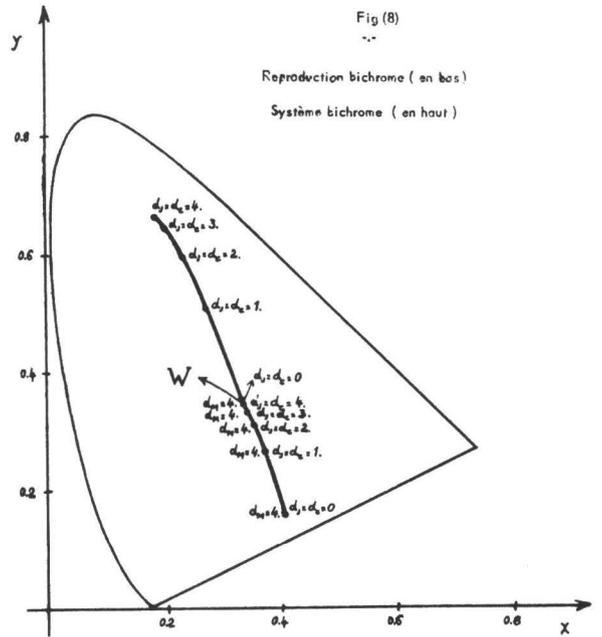


Fig (9)
Reproduction trichrome
Absorption des colorants

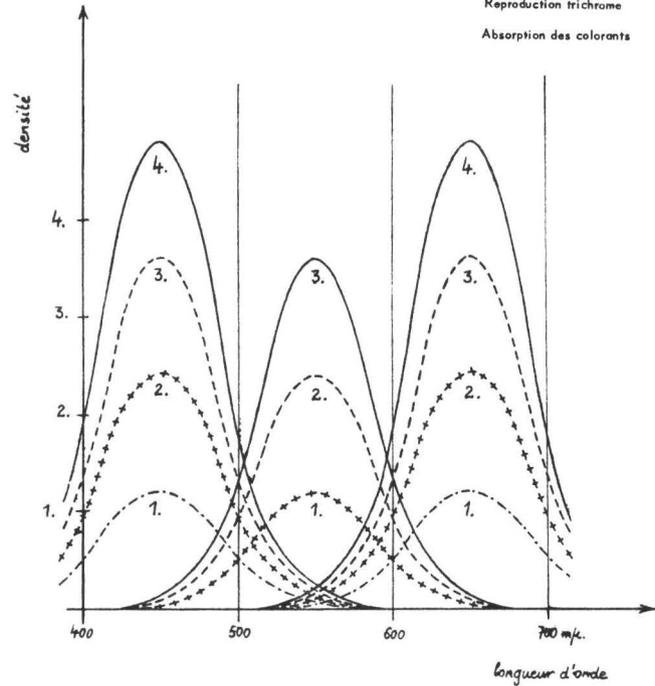


Fig (10)
Reproduction trichrome

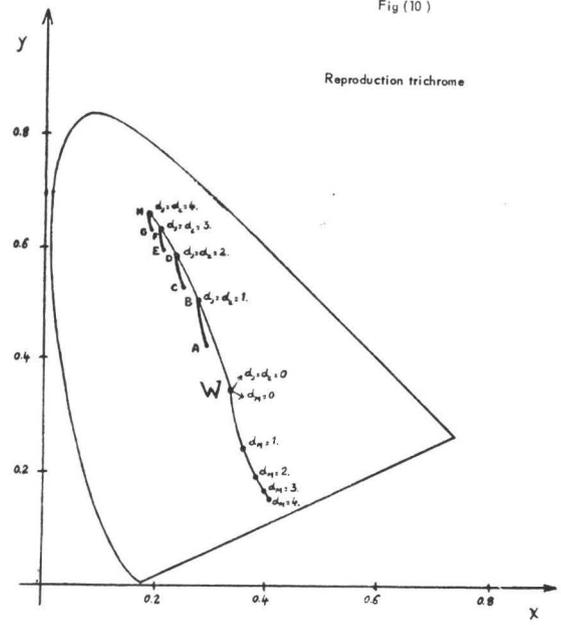
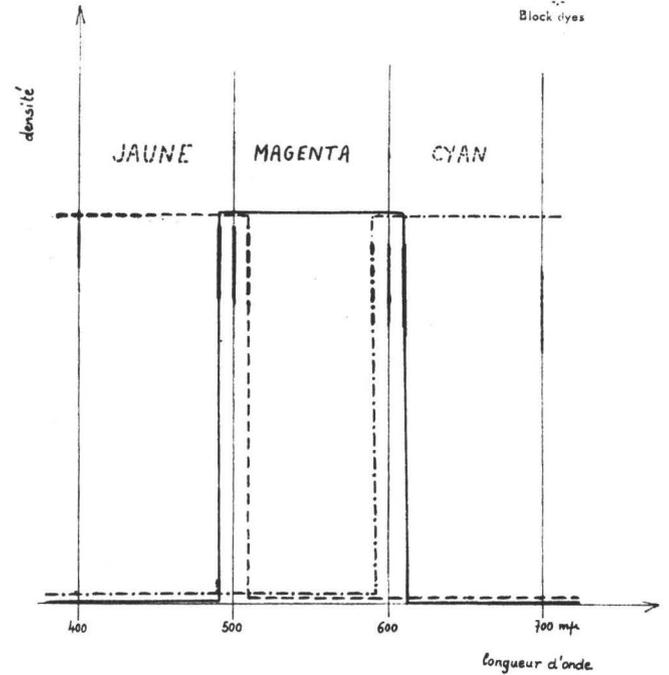


Fig (11)
Block dyes



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES VARIATIONS DE LA CHROMATICITÉ DES IMPRESSIONS AVEC LEUR INTENSITÉ

par MM. GAMBOLI et GALABRO

de l'Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta.

PREAMBULE

Le Laboratoire Graphique de l'E.N.C.C. a entrepris une étude systématique des phénomènes de variations de la chromaticité des impressions colorées, phénomènes qui soulèvent des problèmes constants bien connus des spécialistes des Arts Graphiques.

Le thème de cette étude a paru intéressant tant du point de vue théorique que pour ses conséquences relatives à la reproduction de la couleur (contrepage d'une couleur ou réalisation d'une trichromie) que lorsqu'il s'agit d'établir un choix entre différentes séries d'encres primaires ou de jeter les bases d'une normalisation dans ce domaine.

L'influence de ce phénomène se retrouve pourtant sous des aspects multiples, tant pour les problèmes relatifs à la reproduction de la couleur (contrepage d'une couleur ou réalisation d'une trichromie) que lorsqu'il s'agit d'établir un choix entre différentes séries d'encres primaires ou de jeter les bases d'une normalisation dans ce domaine.

Le travail ci-après ne doit être considéré que comme base préliminaire, servant de cadre à une étude plus vaste, dont les résultats feront l'objet d'une prochaine communication.

Le programme de cette première étude a porté essentiellement sur la mise au point d'une *méthode* valable, à la fois du point de vue « technique expérimentale » que du point de vue choix des paramètres et mode d'expression des résultats.

L'expérimentation a été conduite de la façon suivante:

- on a choisi une série de trois encres primaires et une laque blanche transparente
- on a préparé différents mélanges homogènes, de chacune de ces encres avec la laque transparente d'une part, et de ces mêmes encres prises deux à deux d'autre part (l'étude doit ultérieurement être poursuivie pour d'autres séries d'encres primaires mélangées en proportions variables et à différents taux d'allongements).
- sur une presse à épreuve, on a imprimé sur un même support, une série d'à-plats, à partir des différentes encres ainsi obtenues, en faisant varier de façon continue les quantités d'encre déposées sur le papier.
- les caractéristiques colorimétriques des impressions obtenues ont été mesurées au G. E. Recording Spectrophotometer. A partir des coordonnées tristimulus, on a calculé les coefficients trichromatiques, les longueurs d'ondes dominantes et les puretés d'excitation.

**

L'analyse des résultats obtenus a permis de mettre en évidence l'existence d'une relation, linéaire

dans un certain domaine, entre la longueur d'onde dominante et une fonction logarithmique de la luminance Y.

METHODE EXPERIMENTALE

I. — Les encres:

On a sélectionné une série de trois encres primaires commerciales:

- un jaune à base de jaune Hansa G
- un cyan à base de bleu de phtalocyanine
- un magenta réalisé avec un diazoïque.

La laque dite « transparente » était composée d'hydrate d'alumine de vernis glycérophtalique, d'un vernis synthétique et de vernis de lin.

Chacune des trois encres a été utilisée pure d'abord puis allongée avec 20 %, puis 80 % de vernis transparent. Les trois mêmes encres ont d'autre part été mélangées, sans allongeant, deux à deux en *proportions égales*.

En résumé, les impressions ont donc été effectuées avec les encres suivantes:

n° 10	: jaune primaire à (100 %)
18	» » (80 %) + laque (20 %)
12	» » (20 %) + laque (80 %)
20	: magenta primaire
28	: » » (80 %) + laque (20 %)
22	: » » (20 %) + laque (80 %)
30	: cyan primaire
38	: » » (80 %) + laque (20 %)
32	: » » (20 %) + laque (80 %)
15/25	: Jaune (50 %) + magenta (50 %)
25/35	: magenta (50 %) + cyan (50 %)
35/15	: cyan (50 %) + jaune (50 %)

II. — Le papier:

Ces encres ont été imprimées sur un papier couché de très belle qualité, d'un grammage d'environ 150 g/m². Le meilleur côté du papier a été préalablement repéré par une série d'essais au Printability Tester I.G.T. eu égard à sa caractéristique de résistance à l'arrachage. Toutes les impressions ont été bien entendues effectuées sur ce même côté.

Les caractéristiques colorimétriques de cette face du papier ont également été repérées et ont donné les valeurs moyennes suivantes:

$$Y = 0,8688; \quad x = 0,3131; \quad y = 0,3207.$$

III. — Les conditions d'impression:

Toutes les impressions ont été effectuées dans les mêmes conditions de pression. Les formes imprimantes étaient constituées par 5 plaquettes rectangulaires en matière plastique rigide, d'environ 30 cm² de surface utile chacune et montées de façons à être facilement amovibles: à cet effet on avait prévu des cannelures biseautées dans le porte-cliché en acier,

permettant d'y faire glisser aisément deux des bords également biseautés des 5 plaquettes imprimantes. Ce dispositif permettait à la fois de monter très rapidement ces plaques sur la presse et de les maintenir parfaitement fixes pendant l'impression. La légèreté de ces plaquettes (pesant environ 13 g chacune) permettait de les peser après encrage et après impression, de façon à déterminer par différence le poids précis d'encre déposée sur le papier.

Les pesées se faisaient sur une balance semi-automatique Mettler, sensible au 1/10^e de mg, permettant des pesées très rapides.

Des quantités d'encre croissantes étaient distribuées sur les rouleaux de la presse, de façon à obtenir des impressions à charges d'encre progressives.

Tous les essais étaient effectués en atmosphère conditionnée à 23° C et 50% RH.

IV. — Les mesures colorimétriques :

Les différentes mesures au spectrophotomètre étaient effectuées environ 24 heures après l'impression. Le spectrophotomètre utilisé, équipé d'un intégrateur automatique, donne par lecture directe les coordonnées tristimulus X - Y - Z pour l'illuminant standard C, auquel sont rapportés tous les résultats de cette étude.

L'étalon blanc de référence est constitué d'une plaque recouverte d'oxyde de magnésium et fraîchement préparée chaque jour.

V. — Expression des résultats :

Pour mettre en évidence de façon simple les relations entre les luminances (Y) et les tonalités d'impressions résultant de l'application de films graduellement croissants d'une même encre, il semblait particulièrement indiqué de tracer point par point la courbe expérimentale exprimant ces variations, et ceci pour chacune des encres utilisées. Mais il convenait de définir préalablement les échelles les mieux adaptées à la représentation de ces variations.

a) Echelle des tonalités.

Pour la tonalité, la solution la plus immédiate consistait, sur l'échelle normale des longueurs d'ondes, à représenter la tonalité de l'impression par sa longueur d'onde dominante telle qu'elle est définie par la convention de la C.I.E. Cependant un examen plus approfondi de cette solution faisait rapidement apparaître une objection fondamentale sérieuse : la notion de longueur d'onde dominante fait, on le sait, intervenir des facteurs physiologiques.

En particulier les écarts de chromaticité *juste perceptibles* sont représentés sur l'échelle habituelle des longueurs d'onde par des écarts variables.

Une échelle physique sur laquelle les longueurs d'ondes sont régulièrement équidistantes conduit donc à une représentation erronée de la vision des couleurs, en faussant l'incidence des facteurs physiologiques. Pour tenir compte de ces facteurs, il faut que les graduations de l'échelle soient resserrées dans les zones du spectre où les virages de tonalités sont lents et au contraire plus étalées dans les zones spectrales à virage de tonalité rapide.

Remarquons d'ailleurs que l'échelle des tonalités représentées proportionnellement aux longueurs d'ondes présente l'inconvénient pratique majeur d'être bornée aux deux extrémités du spectre. Bien que nous ayons utilisé la notation conventionnelle qui consiste à représenter les pourpres par leur longueur d'onde complémentaire comme c'est l'usage, cette représentation ne nous a pas paru satisfaisante puisque la vision colorée

se présente comme un phénomène continu du rouge au bleu en passant par le pourpre.

Pour obtenir une représentation mieux en accord avec la sensation visuelle, il a été décidé d'exprimer la tonalité par une grandeur proportionnelle au coefficient angulaire « ω » du rayon vecteur ayant pour origine le centre du diagramme chromatique de la C.I.E. (blanc standard C : $y=0,3163$; $x=0,3101$) et pour extrémité le point du spectrum locus correspondant à la position de la longueur d'onde dominante.

Par la suite les résultats satisfaisants obtenus grâce à cette représentation ont confirmé la validité de ce choix.

L'expression analytique du paramètre ω , qui définit l'échelle des tonalités, est en fonction des coefficients trichromatiques :

$$\omega = \text{Arc tg} \frac{y - y_w}{x - x_w}$$

où x et y sont les coefficients trichromatiques de la couleur représentée et x_w et y_w les coordonnées de l'étalon C.

b) Echelle des intensités.

Dès la première série de mesures, on a constaté que les variations de la luminance Y en fonction de la tonalité ω avaient une forme exponentielle. Il était de ce fait plus simple de faire intervenir la luminance Y par la valeur de son logarithme.

On a donc choisi pour l'échelle des intensités le paramètre

$$\delta = \text{Log} \frac{I_0}{Y}$$

L'expression analytique de ce paramètre est analogue à celle qui exprime la densité optique :

$$D = \text{Log} \frac{1^0}{1}$$

En effet dans les mesures colorimétriques, la luminance Y est exprimée par rapport à la luminance Y_0 (mesurée dans les mêmes conditions) du blanc étalon, Y_0 étant de ce fait pris égal à l'unité.

Le rapport $\frac{1}{Y}$ apparaît donc de façon naturelle

et il a paru logique d'attribuer au paramètre δ la dénomination de « densité colorimétrique ».

VI. — Résultats obtenus : 1. — Variations de la chromaticité en fonction de la densité colorimétrique.

L'étude effectuée dans les conditions expérimentales décrites précédemment et traduite selon les conventions qui viennent d'être définies a montré que dans un certain domaine (que l'on a cherché à définir) la densité colorimétrique δ était une fonction linéaire de la tonalité :

$$\delta = a_\omega + b$$

Les constantes a et b caractérisent les conditions de « virage » de la couleur de l'impression avec la charge d'encre ; la pente « a » est en quelque sorte le taux de variation de ce virage.

Les courbes 1 à 6 représentent les variations de la densité colorimétrique en fonction de « ω » pour les trois encres primaires pures et pour les trois mélanges binaires en proportions égales. Pour plus de clarté nous avons noté sur l'axe des abscisses les valeurs correspondantes des longueurs d'onde dominantes.

Les courbes de la figure 7 illustrent les variations de l'encre cyan en mélange avec de la laque trans-

parente. On voit que l'allure de la courbe est voisine de celle de l'encre pure correspondante, mais que la pente de la droite est légèrement plus faible.

On a limité les diagrammes, dans la zone inférieure au moment ou des charges d'encre trop faibles ne permettaient pas d'obtenir un film d'encre assez régulier sur le support; à la partie supérieure au moment où les accroissements de charge d'encre n'avaient qu'une influence réduite sur la tonalité.

Les portions nettement rectilignes de ces courbes se déplacent, pour les différentes couleurs, vers des valeurs de densités colorimétriques plus ou moins élevées selon la plus ou moins forte luminosité des couleurs considérées: par exemple dans le jaune, la zone rectiligne se prolonge dans les basses densités colorimétriques; pour le mélange cyan+magenta au contraire, la zone rectiligne se situe dans la zone plus élevée de la densité colorimétrique.

On pense que la zone supérieure ou la courbe s'infléchit représente des charges d'encre telles que l'influence de la couleur du papier lui-même devient négligeable.

En fait il était prévisible qu'à partir de ce point la densité colorimétrique accuse un taux d'accroissement plus rapide. Une étude complémentaire plus approfondie de ce phénomène sera effectuée ultérieurement.

On peut penser que la pente de la droite est liée à la forme de la courbe de réflectance spectrale de l'encre considérée. Nous nous proposons également d'étudier de façon plus précise la nature de cette liaison.

Du point de vue pratique, une droite à forte pente doit être considérée comme un élément favorable en ce sens qu'elle indique une variation relativement limitée de la tonalité pour des épaisseurs d'encrages différentes. Ceci pourrait donc constituer un des critères d'appréciation de la qualité d'une encre d'imprimerie de couleur donnée.

On a également tracé les courbes représentatives des variations de la longueur d'onde dominante en fonction de la charge pondérale d'encre déposée sur le papier. On a constaté que ces courbes n'étaient pas très significatives et ne méritaient pas d'être représentées en détail. On n'en montrera qu'une, à titre d'exemple (figure n° 8) établie pour l'encre cyan à diverses dilutions avec la laque transparente: ce graphique met en évidence l'influence de la teinte légèrement jaunâtre du vernis sur la chromaticité de l'encre à laquelle il est additionné.

On peut aussi mieux caractériser en effet en portant en ordonnée, pour les mêmes mélanges, non plus la charge d'encre mais une valeur proportionnelle au poids d'encre pure contenue dans le mélange. On met ainsi en relief le changement de la longueur d'onde dominante avec l'augmentation de pourcentage de laque dans le mélange.

2. — Variations de la densité colorimétrique avec la pureté.

Les courbes (n° 10, 11 et 12) représentent les variations de la densité δ en fonction de la pureté d'excitation σ , pour les trois encres primaires étudiées. Pour les autres encres, l'allure des courbes reste la même.

Ces courbes ne mettent en évidence aucune particularité remarquable: au fur et à mesure qu'augmente la quantité d'encre déposée — donc la densité colorimétrique —, on note une augmentation progressive de la pureté d'excitation. La pente de la courbe augmente ensuite dans la zone qui, pour la courbe $\delta=f(\lambda\delta)$ correspondait à l'infléchissement supérieur dont nous avons parlé. Ce résultat est tout à fait normal puisque dans cette zone l'action du papier

devient négligeable. Au-delà de ce point la courbe tend à s'infléchir en sens inverse.

La figure relative à l'encre magenta présente une allure particulière: elle met en relief un point singulier pour lequel la courbe change brusquement de pente. Ce point n'a cependant pas de signification physique réelle. Il correspond en fait aux caractéristiques géométriques du diagramme C.I.E. dans la zone de raccordement du rouge extrême au pourpre.

La figure 13 représente la courbe $\delta=f(\sigma)$ pour les mélanges de magenta avec la laque transparente. Elle montre clairement à quel point la pureté d'excitation est elle aussi notablement influencée par l'addition de laque transparente. Bien entendu cette influence se fait sentir pour l'encre jaune dans une plus faibles mesure que pour les deux autres.

**

CONCLUSION

Le travail qui vient d'être présenté avait pour but de préciser l'importance des variations de chromaticité qui interviennent lors de l'emploi d'une encre déterminée, lorsqu'elle est déposée sur un papier sous forme d'un film d'épaisseur variable ou lorsqu'elle est employée à plus ou moins forte dilution.

On a vu que les variations d'épaisseur provoquent en fait simultanément non seulement une variation de Y et de la pureté d'excitation, mais aussi un changement de longueur d'onde dominante qui peut être très accusé.

Il a paru particulièrement intéressant, pour la poursuite des travaux systématiques entrepris au Laboratoire de l'E.N.C.C. d'avoir pu exprimer sous une forme analytique aussi simple un ensemble de phénomènes complexes qui se rencontrent quotidiennement en pratique industrielle, dans le domaine des Arts Graphiques. Il convient de remarquer d'ailleurs que la loi expérimentale établie est vérifiée avec une très bonne approximation étant donné l'ampleur des échelles choisies.

Les conséquences immédiates de cette première étude se traduisent pratiquement sous plusieurs formes différentes :

1. — Incidence générale de l'interdépendance des paramètres :

Les différentes courbes présentées montrent qu'il est possible, de faire varier de façon indépendante un seul des paramètres considérés (densité colorimétrique, longueur d'onde dominante, pureté d'excitation) en agissant soit sur l'épaisseur du film, soit sur la dilution de l'encre, ces deux moyens d'action n'étant d'ailleurs jamais équivalents. Mais au moment où l'on fixe l'un quelconque de ces paramètres les autres variables se trouvent automatiquement déterminées.

2. — Influence particulière pour les vernis d'allongement :

On a vu l'addition de laque dite transparente, (que l'on emploie en pratique pour obtenir à partir d'une encre donnée des impressions de plus faible intensité ou simplement de meilleures caractéristiques de distribution sur machine) provoque inévitablement une variation de la tonalité: il ne sera jamais possible d'obtenir des impressions identiques à partir d'une encre pure employée à faible charge ou avec la même encre diluée, imprimée à charge plus forte. Si l'on fait varier de façon judicieuse la charge d'encre de façon à obtenir une pureté donnée la longueur dominante sera différente. Inversement on pourra aligner le résultat obtenu sur une longueur d'onde donnée, au prix de variations dans la pureté.

3. — *Répercussion de ces variations sur la trichromie soustractive:*

Dans tous les domaines où la reproduction des couleurs fait apparaître des mélanges soustractifs, les variations qui viennent d'être étudiées prennent une grande importance. C'est le cas en particulier du procédé d'impression en héliogravure, où les variations de charge d'encre sont inhérentes au procédé lui-même. La fidélité rigoureuse de reproduction d'une trichromie pose donc des problèmes plus complexes encore qu'il n'apparaissait au premier abord.

4. — *Equations de Masking:*

Il n'entrait pas dans le cadre de cette étude d'aborder le sujet des équations de Masking. On perçoit déjà cependant, à la lumière des relations étudiées, les difficultés fondamentales qui apparaissent pour l'établissement d'équations valables.

5. — *Normalisation des couleurs primaires:*

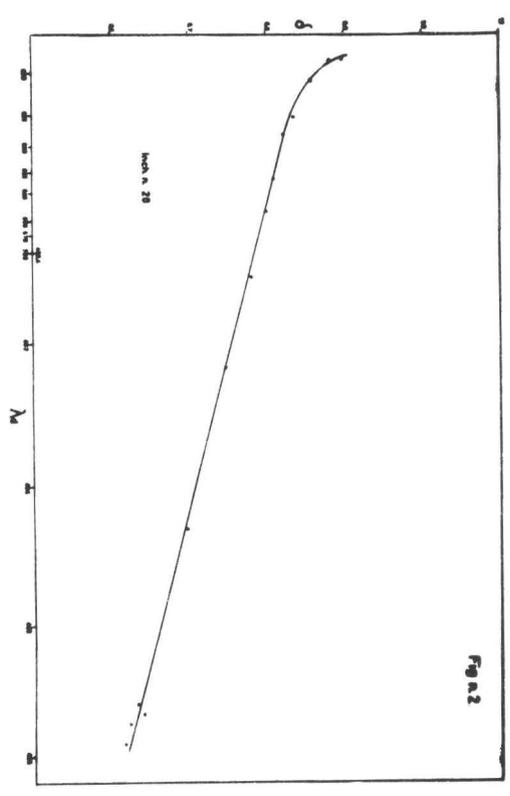
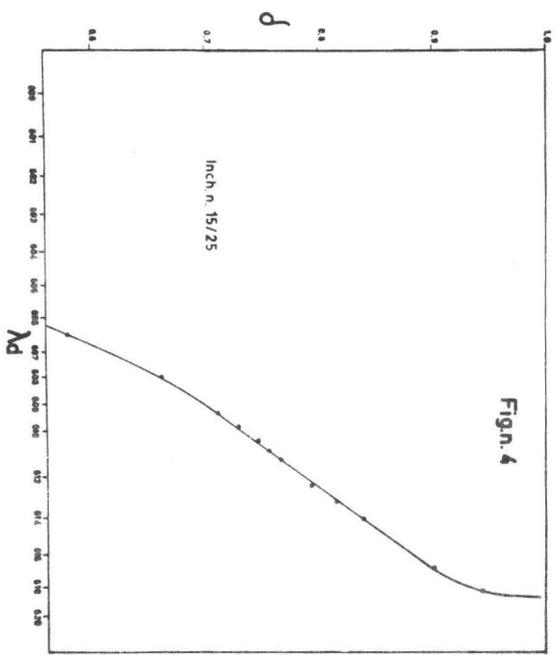
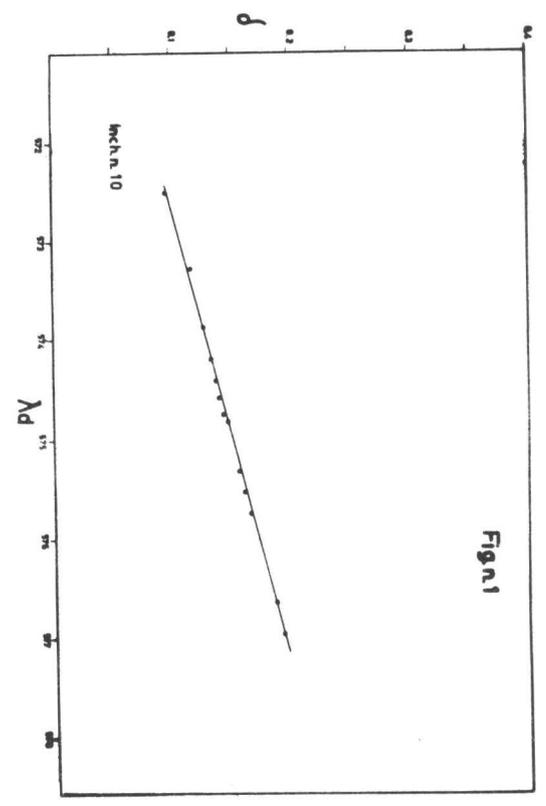
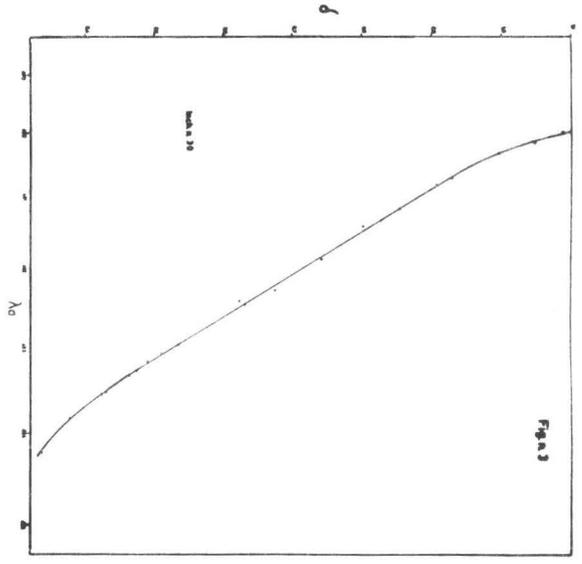
La relation établie est de nature à apporter une contribution aux travaux de normalisation des couleurs dans la mesure même où elle apporte des précisions sur l'interdépendance des paramètres utilisés pour la définition d'une impression en couleur.

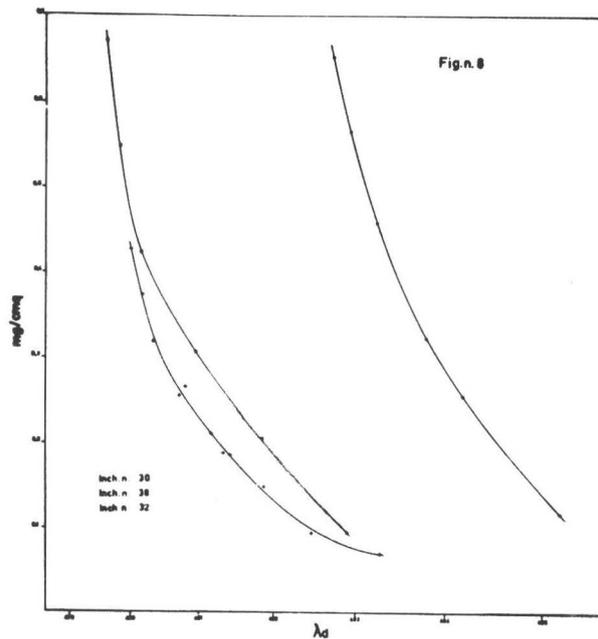
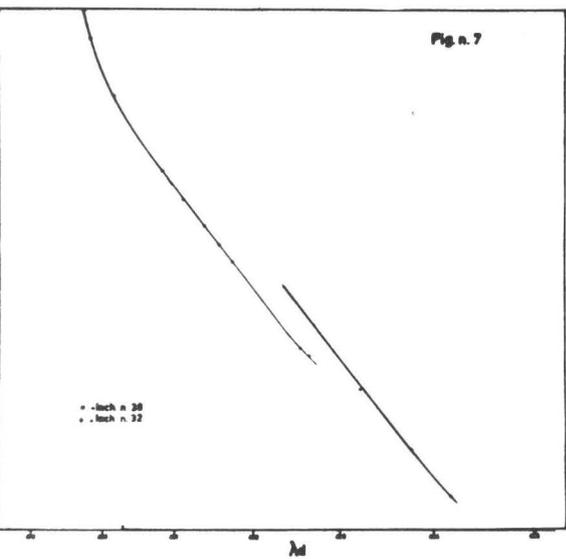
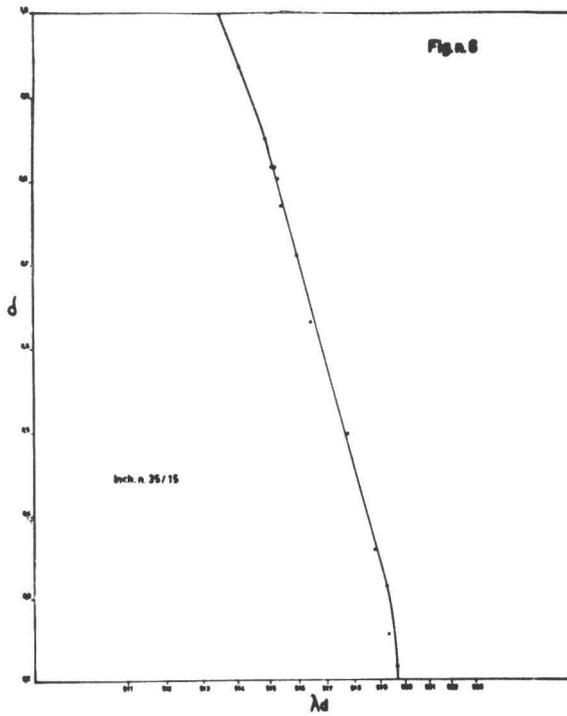
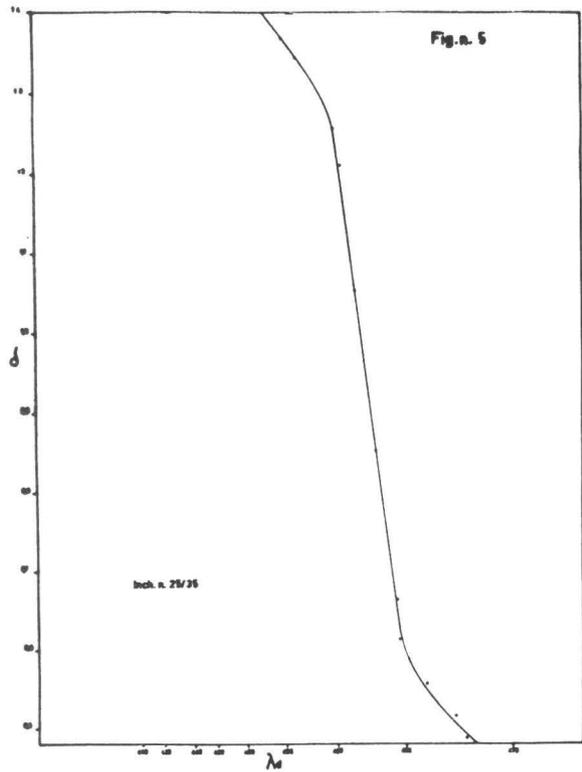
La comparaison de plusieurs séries d'encres primaires pourra se faire à partir d'impressions obtenues dans des conditions standardisées.

Lorsqu'il s'agira d'encres destinées à l'héliogravure, toute définition susceptible de normalisation devra faire intervenir la pente de la courbe, intégrer la notion de virage du ton à la définition elle-même.

Pour les encres typo et offset il suffira sans doute de se référer à un même point de la courbe, qu'il conviendra de définir.

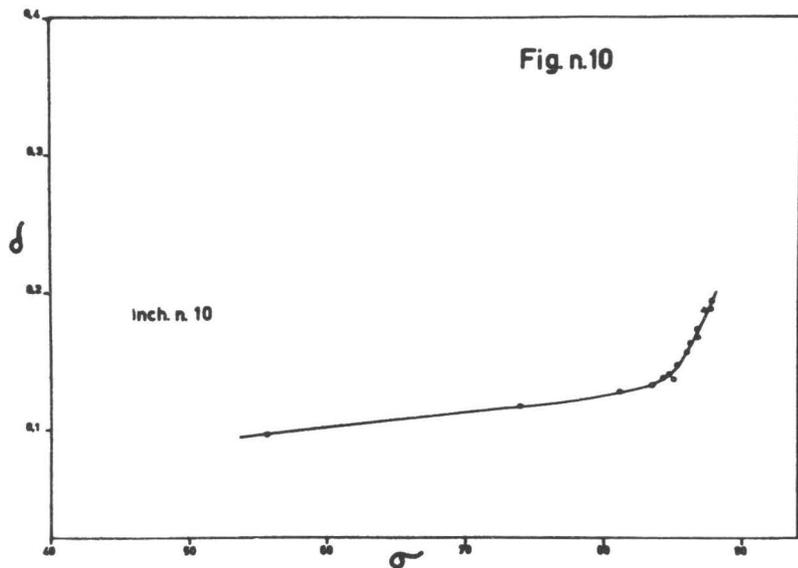
Cette possibilité vient donc de combler le handicap qui résultait au stade actuel des travaux de normalisation de la difficulté de mesurer avec précision l'épaisseur d'une charge d'encre déposée sur un support.



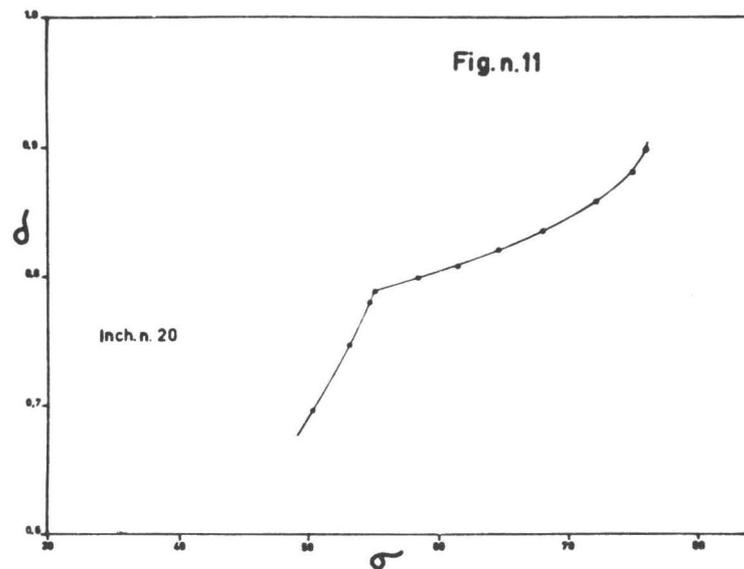


DENSITE COLORIMETRIQUE EN FONCTION DE LA
LONGUEUR D'ONDE DOMINANTE
UR LE CYAN DILUE AVEC LAQUE TRANSPARENTE
(90% et 20%)

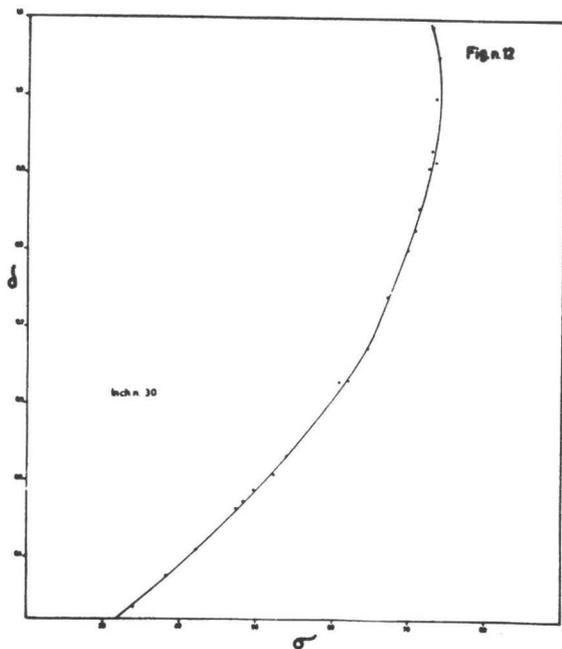
LONGUEUR D'ONDE DOMINANTE EN FONCTION DE LA
CHARGE DEPOSEE SUR LE PAPIER
(CYAN PUR ET A DIVERSES DILUTIONS)



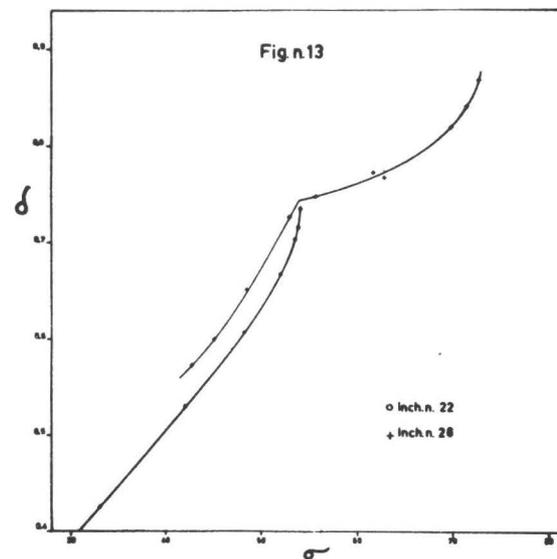
DENSITE COLORIMETRIQUE EN FONCTION DE LA PURETE
POUR LE JAUNE



DENSITE COLORIMETRIQUE EN FONCTION DE LA PURETE
POUR LE MAGENTA



DENSITE COLORIMETRIQUE EN FONCTION DE LA



DENSITE COLORIMETRIQUE EN FONCTION DE LA PURETE
POUR LE MAGENTA DILUE AVEC LAQUE TRANSPARENTE

REPRODUCTION DES DIAPOSITIVES COULEURS PAR IMPRESSION TRICHROME EN HELIOGRAVURE

Etude des équations de masking

par M. F. DRIANCOURT

Ingénieur à l'Imprimerie Georges Lang.

Le problème de la reproduction fidèle des couleurs par les procédés d'impression est du nombre de ceux qui — par suite du trop grand nombre de variables en jeu — semblent difficilement accessibles à une étude analytique précise.

Le but du présent travail est de tenter une approche mathématique du problème, en le limitant aux données suivantes:

1. — Reproduction des diapositives obtenues par procédés soustractifs de photographie en couleurs (Kodachrome, Ektachrome, Gévacolor, Agfacolor, Ferraniacolor, etc...), c'est-à-dire reproduction d'une gamme limitée de teintes obtenues à partir de 3 colorants primaires bien définis.

2. — Impression par héliogravure — c'est-à-dire par un procédé à teintes continues, où le peu d'épaisseur et la transparence relative des trois couches d'encre peuvent permettre leur assimilation au moins approximative avec les 3 couches colorées d'une diapositive.

En dehors même de toute connaissance détaillée du processus de reproduction, le simple bon sens laisse entrevoir, étant donné l'analogie entre les deux systèmes, un principe possible d'une reproduction fidèle des couleurs de l'original:

- Sélection, soit confection de 3 clichés photographiques correspondant aux 3 couches d'émulsions de la diapositive, chaque cliché correspondant à une couche et à une seule. Le terme anglais « separation » rend fort bien compte de cette opération.
- Impression, soit reconstitution d'un fac-similé de la diapositive par superposition de 3 films d'encres primaires de couleurs identiques à celles des colorants de l'original, ces 3 films étant obtenus à partir de 3 clichés photographiques précédents. Ces conditions idéales sont malheureusement très loin de celles rencontrées dans la pratique. En effet, les caractéristiques colorimétriques des colorants employés dans les procédés de photographie en couleurs ne permettent pas la sélection exacte de chaque couche colorée en une seule opération. Les encres d'impression, d'autre part, diffèrent très sensiblement des colorants originaux, tant au point de vue des teintes que des autres propriétés physiques.

COLORANTS DE LA DIAPOSITIVE ORIGINALE

On suppose que les 3 colorants: cyan, jaune et magenta, utilisés dans le système de photographie en couleurs, par lequel sont réalisées les diapositives

originales, ont les courbes d'absorption représentées à la figure I. Ces trois courbes correspondent aux primaires d'un système réel, pour des densités équivalentes $c=j=m=1$.

On suppose par ailleurs que la sélection est faite avec les 3 filtres dont les courbes de transmission sont représentées à la figure 2. Les filtres bleu-violet et rouge sont respectivement les filtres Kodak Wratten 50 & 29. Le filtre vert est analogue au filtre Kodak Wratten 61, mais avec une bande de transmission légèrement plus étroite.

On suppose enfin que la source de lumière servant à la sélection a approximativement la même distribution spectrale que l'illuminant C de la C.I.E.

La comparaison des courbes d'absorption des colorants d'une part, et des courbes de transmission des filtres d'autre part, montre que, sous le filtre vert par exemple, on enregistrera au mieux les variations de concentration du colorant magenta, mais que les absorptions non négligeables des colorants jaune et cyan dans le même intervalle spectral viendront fausser la sélection du magenta.

Des relations simples permettent de rendre compte des proportions relatives des 3 couches enregistrées sous un filtre de sélection donné.

Les courbes de la figure I permettent en effet d'établir directement, pour des lumières monochromatiques, la relation entre la densité vraie (densité spectrale) et les densités équivalentes. A 450 millimicrons par exemple, le cyan de densité équivalente I a une densité spectrale de 0,13 — le jaune de 0,64, le magenta de 0,25.

Les densités spectrales étant additives, une superposition quelconque des 3 colorants, avec des densités équivalentes c , j et m , aura donc une densité à 450 millimicrons de:

$$D_{450} = 0,13c + 0,64j + 0,25m$$

Il est possible par un développement en série d'établir des relations analogues pour les densités lues, non plus sous un filtre monochromatique, mais sous un filtre à bande large. Ces densités seront les densités de tirage (exposure densities dans la littérature anglaise).

Avec les 3 filtres indiqués plus haut, ces relations sont:

$$\text{— filtre rouge: } D_R = 0,74c + 0,02j + 0,19m$$

$$\text{— filtre vert: } D_V = 0,18c + 0,21j + 0,59m$$

$$\text{— filtre bleu: } D_B = 0,13c + 0,59j + 0,28m$$

Ces relations ne sont, sous cette forme, qu'approchées. Le développement en série fait en effet apparaître des termes d'ordre supérieur à I. Mais leurs coefficients (0,009 au maximum pour les termes d'ordre 2) sont suffisamment faibles pour qu'on puisse raisonnablement les négliger.

DUPLICATING DE L'ORIGINAL

Supposons que les trois encres de reproduction aient exactement les mêmes caractéristiques d'absorption que les 3 colorants ci-dessus et que leur superposition se fasse suivant les mêmes lois physiques.

Pour que la reproduction des couleurs soit exactement fidèle, il sera nécessaire et suffisant que les densités équivalentes des 3 encres de reproduction — c' , j' et m' — soient, en chaque point, égales aux densités équivalentes des colorants de l'original, soit :

$$\begin{aligned} c' &= c \\ j' &= j \\ m' &= m \end{aligned}$$

Par substitution dans les équations précédentes, et résolution en c' , j' et m' , on obtient :

$$\begin{aligned} c' &= 1,46 D_R + 0,13 D_B - 0,54 D_V \\ j' &= 2,04 D_B - 0,94 D_V - 0,13 D_R \\ m' &= 2,23 D_V - 0,40 D_R - 0,77 D_B \end{aligned}$$

Ces équations constituent les équations de masking pour le système de reproduction envisagé.

Dans le domaine de la photographie en couleurs, ce type d'équations a déjà été exploité de manière fructueuse, en particulier dans de nombreuses études des laboratoires Eastman Kodak. Il semble donc intéressant de tenter leur extrapolation au domaine de l'impression.

UTILISATION PRATIQUE DES EQUATIONS DE MASKING EN HELIOGRAVURE

Les équations précédentes deviennent d'une compréhension plus facile au photogaveur si l'on note que les densités équivalentes c' — j' — m' — sont exactement assimilables aux densités des positifs à ton continu utilisés en héliogravure.

Il y a toutefois lieu de faire remarquer que :

1° Cette assimilation n'est possible que dans la mesure où le creux des cylindres d'impression varie linéairement en fonction de la densité des positifs. Ceci est la caractéristique d'une gravure correcte en héliogravure.

2° Les densités minima des positifs utilisés en héliogravure ne sont jamais nulles, ceci pour tenir compte d'une certaine « inertie » du papier charbon en fin de gravure.

En admettant une densité minima de 0,35, on aura alors, dans les équations, à opérer la substitution :

$$c' = d_c - 0,35$$

d_c représentant la densité du positif du cyan d_j et d_m représenteront de la même manière les densités des positifs du jaune et du magenta.

On aura donc, traduites en termes d'impression, les 3 équations suivantes :

$$\begin{aligned} d_c - 0,35 &= a D + b D + c D \\ c & \quad c \quad B \quad c \quad v \quad c \quad R \\ d_j - 0,35 &= a D + b D + c D \\ j & \quad j \quad B \quad j \quad v \quad j \quad R \\ d_m - 0,35 &= a D + b D + c D \\ m & \quad m \quad B \quad m \quad v \quad m \quad R \end{aligned}$$

Les coefficients c_c , a_j , b_m représentent les facteurs de contraste — gammas — des 3 positifs de sélection (et également des 3 négatifs, si la transformation négatif/positif est effectuée à $\gamma = 1$).

Les autres coefficients représentent les facteurs de contraste des « masques ». On notera que si un coefficient est négatif, le masque correspondant devra être un positif monté en superposition sur le négatif de sélection, et inversement, si un coefficient est positif, le masque devra être négatif monté en superposition sur le négatif de sélection.

Rappelons enfin que D_B , D_V et D_R représentent les

densités de la diapositive originale, lues sous les filtres de sélection, et éventuellement corrigées en fonction de la sensibilité chromatique de l'émulsion utilisée, ainsi que de la répartition spectrale de la source lumineuse servant à la sélection.

DETERMINATION DES COEFFICIENTS DES EQUATIONS

Cette détermination doit se faire par comparaison de plages dont les couleurs sont jugées identiques — visuellement ou photométriquement — sur la diapositive originale d'une part, sur la reproduction imprimée d'autre part.

Etant donné les différences de nature entre l'original et la reproduction, la comparaison visuelle présente de grandes difficultés, et des égalisations ainsi réalisées ne peuvent être valables que si elles représentent la moyenne d'un grand nombre de mesures d'observateurs différents.

On peut, par contre, réaliser simplement une égalisation photométrique en admettant que sont colorimétriquement identiques deux plages, de l'original d'une part, de la reproduction d'autre part, qui ont les mêmes densités sous les 3 filtres choisis — ce qui revient à remplacer une couleur de la diapositive originale par un métamère réalisé avec les 3 encres d'impression.

Ceci étant, la détermination des coefficients peut se faire à partir du moment où l'on a égalisé 3 couleurs, par la résolution de 3 systèmes de 3 équations linéaires à 3 inconnues.

On peut encore, si l'on veut éviter ce calcul, déterminer graphiquement les coefficients par un choix convenable des couleurs à égaliser.

DETERMINATION GRAPHIQUE

Supposons que l'on ait effectué l'égalisation pour un jeu de 5 couleurs dont les densités de tirage sont :

$$\begin{aligned} \text{— Couleur 1} & D_R = D_V = D_B = m \\ \text{— Couleur 2} & D_R = n \quad D_V = D_B = m \\ \text{— Couleur 3} & D_R = p \quad D_V = D_B = m \\ \text{— Couleur 4} & D_V = n \quad D_R = D_B = m \\ \text{— Couleur 5} & D_B = n \quad D_V = D_R = m \end{aligned}$$

Pour D et D constants, on peut tracer les droites:

$$\begin{aligned} d_c &= f\left(\frac{D}{B}\right) \\ d_i &= f\left(\frac{D}{B}\right) \\ d_m &= f\left(\frac{D}{B}\right) \end{aligned}$$

Les pentes de ces droites représentent respectivement les coefficients a_c , a_j , et a_m .

On peut opérer de même pour les 6 autres coefficients.

En fait, si l'on essaie d'appliquer cette méthode, on s'aperçoit, en traçant les graphiques, que l'on n'obtient pas des droites, mais des courbes. La raison en est que les encres utilisées à l'impression:

— d'une part ne suivent pas la loi de Beer-Lambert — d'autre part ne sont pas parfaitement transparentes.

On peut prévoir, en conséquence, que si les coefficients de masking sont déterminés pour un rendu correct des tons forts, les tons légers seront sur-correctés et inversement. Ceci correspond d'ailleurs aux observations pratiques.

DETERMINATION MATHEMATIQUE

En éliminant la méthode ci-dessus, on peut déterminer les coefficients par résolution des 3 systèmes d'équation indiqués plus haut.

Nous avons opéré ainsi pour 3 jeux d'encres à étudier, repérés A — B et C, dont les courbes d'absorption sont représentées aux figures 3, 4 et 5. Ces figures comportent également, en pointillé, les courbes d'absorption des colorants des diapositives originales. Le jeu d'encres C ne diffère du jeu d'encres B que par changement du jaune.

Les égalisations photométriques ont été effectuées dans les verts, rouge-orangés et violets les plus intenses réalisables par superposition des encres 2 à 2.

Les équations obtenues sont les suivantes:

Jeux d'encres A.

Egalisations: dans le vert	D = 1,16 B		d = 1,80 c
	D = 0,86 v	pour	d = 1,80 j
	D = 1,50 R		d = 0,35 m
dans le rouge	D = 1,26 B		d = 0,35 c
	D = 1,22 v	pour	d = 1,80 j
	D = 0,04 R		d = 1,80 m
dans le violet	D = 0,98 B		d = 1,80 c
	D = 1,38 v	pour	d = 0,35 j
	D = 1,39 R		d = 1,80 m

Equations correspondantes:

$$\begin{aligned} d_c - 0,35 &= -0,24 & D + 0,21 & D - 1,03 & D \\ & & B & V & R \\ d_j - 0,35 &= -3,07 & D + 1,90 & D - 0,28 & D \\ & & B & V & R \\ d_m - 0,35 &= -1,16 & D + 2,40 & D - 0,48 & D \\ & & B & V & R \end{aligned}$$

Jeux d'encres B.

Egalisations: dans le vert	D = 0,99 B		d = 1,80 c
	D = 0,49 v	pour	d = 1,80 j
	D = 1,11 R		d = 0,35 m
dans le rouge:	D = 1,16 B		d = 0,35 c
	D = 1,16 v	pour	d = 1,80 j
	D = 0,02 R		d = 1,80 m
dans le violet	D = 0,50 B		d = 1,80 c
	D = 1,20 v	pour	d = 0,35 j
	D = 1,14 R		d = 1,80 m

Equations correspondantes:

$$\begin{aligned} d_c - 0,35 &= -0,02 & D - 0,04 & D + 1,32 & D \\ & & B & V & R \\ d_j - 0,35 &= 2,10 & D - 0,69 & D - 0,19 & D \\ & & B & V & R \\ d_m - 0,35 &= -0,42 & D + 1,55 & D - 0,305 & D \\ & & B & V & R \end{aligned}$$

Jeux d'encres C.

Egalisations: dans le vert	D = 1,05 B		d = 1,80 c
	D = 0,52 v	pour	d = 1,80 j
	D = 1,10 R		d = 0,35 m
dans le rouge	D = 1,14 B		d = 0,35 c
	D = 1,12 v	pour	d = 1,80 j
	D = 0,045 R		d = 1,80 m
dans le violet	D = 0,50 B		d = 1,80 c
	D = 1,20 v	pour	d = 0,35 j
	D = 1,14 R		d = 1,80 m

Equations correspondantes:

$$\begin{aligned} d_c - 0,35 &= -0,15 & D - 0,08 & D + 1,52 & D \\ & & B & V & R \\ d_j - 0,35 &= 1,78 & D - 0,47 & D - 0,18 & D \\ & & B & V & R \\ d_m - 0,35 &= -0,46 & D + 1,78 & D - 0,39 & D \\ & & B & V & R \end{aligned}$$

Résumons sur un tableau le pourcentage des masques ainsi déterminés :

	Sélection du cyan		Sélection du jaune		Sélection du magenta	
	Masque d'après négatif du jaune	Masque d'après négatif du magenta	Masque d'après négatif du cyan	Masque d'après négatif du magenta	Masque d'après négatif du cyan	Masque d'après négatif du jaune
A	23 % positif	20 % négatif	9 % positif	61 % positif	20 % positif	49 % positif
B	Négligeables		9 % positif	33 % positif	20 % positif	27 % positif
C	10 % positif	5 % positif	10 % positif	27 % positif	22 % positif	26 % positif

On constate immédiatement que le jeu d'encres B est très supérieur au jeu d'encres A ; il nécessite en effet un pourcentage de retouches beaucoup plus faible pour obtenir une reproduction fidèle.

Mis à part le cliché du cyan, les jeux d'encres B et C ne présentent pas de différences sensibles, mais on peut constater sur les équations que le jeu d'encres C admet une sélection « équilibrée » (les gammas des négatifs de sélection sont égaux ou presque), ce qui n'est pas le cas pour le jeu d'encres B.

Cet équilibre de la sélection va de pair avec l'égalité des trois densités des encres (à densité de positif identique), mesurées sous les 3 filtres de sélection.

Il s'agit là d'un facteur important en faveur du jeu d'encres C.

JEU D'ENCRE IDEALES

Une constatation faite à la lecture du tableau ci-dessus est que les pourcentages de masking nécessaires décroissent en même temps que les absorptions parasites des encres.

Supposons donc que l'on puisse réaliser un jeu d'encres équilibré, de force et de coloration voisines de celles du jeu d'encres C, mais sans absorptions parasites.

Les égalisations seraient :

dans le vert	D = 1,20	d = 1,80
	B	c
	D = 0	pour d = 1,80
	v	j
	D = 1,20	d = 0,35
	R	m
dans le rouge	D = 1,20	d = 0,35
	B	c
	D = 1,20	pour d = 1,80
	v	j
	D = 0	d = 1,80
	R	m
dans le violet	D = 0	d = 1,80
	B	c
	D = 1,20	pour d = 0,35
	v	j
	D = 1,20	d = 1,80
	R	m

et les équations se réduiraient alors à :

$$\begin{aligned} d - 0,35 &= 1,21 \quad D \\ c & \quad \quad \quad R \\ d - 0,35 &= 1,21 \quad D \\ j & \quad \quad \quad B \\ d - 0,35 &= 1,21 \quad D \\ m & \quad \quad \quad V \end{aligned}$$

Ce jeu d'encres donnera une reproduction fidèle des 3 couleurs choisies, sans qu'il soit nécessaire de corriger les clichés de sélection.

Il est intéressant de remarquer que le facteur déterminant est l'absence des absorptions parasites plus que la longueur d'onde dominante des encres. Il est évident toutefois que, dans le cas où les encres seraient des métamères des colorants originaux (sans absorptions parasites), on pourrait reproduire fidèlement, non pas seulement les 3 couleurs, vert — rouge et violet — choisies pour l'égalisation, mais également les 3 couleurs primaires cyan, jaune et magenta.

CHANGEMENT DES COULEURS CHOISIES POUR L'EGALISATION

Le choix des couleurs d'égalisation peut paraître arbitraire, et il importe de vérifier si les coefficients calculés restent valables pour un autre jeu de 3 couleurs d'égalisation.

Les calculs ci-dessus ont été repris avec des égalisations dans les couleurs des encres primaires, et non plus de leurs superpositions 2 à 2. Les équations obtenues sont :

Jeu d'encres A.

$$\begin{aligned} d - 0,35 &= -0,14 \quad D + 0,05 \quad D + 1,20 \quad D \\ c & \quad \quad \quad B \quad \quad \quad V \quad \quad \quad R \\ d - 0,35 &= 2,02 \quad D - 1,35 \quad D + 0,09 \quad D \\ j & \quad \quad \quad B \quad \quad \quad V \quad \quad \quad R \\ d - 0,35 &= -0,46 \quad D + 1,73 \quad D - 0,59 \quad D \\ m & \quad \quad \quad B \quad \quad \quad V \quad \quad \quad R \end{aligned}$$

Jeu d'encres B.

$$\begin{aligned} d - 0,35 &= -0,04 \quad D - 0,02 \quad D + 1,48 \quad D \\ c & \quad \quad \quad B \quad \quad \quad V \quad \quad \quad R \\ d - 0,35 &= 1,69 \quad D - 0,63 \quad D - 0,08 \quad D \\ j & \quad \quad \quad B \quad \quad \quad V \quad \quad \quad R \\ d - 0,35 &= -0,14 \quad D + 1,46 \quad D - 0,57 \quad D \\ m & \quad \quad \quad B \quad \quad \quad V \quad \quad \quad R \end{aligned}$$

Fig. 1 ABSORPTIONS DES COLORANTS DE L'ORIGINAL
(à densités équivalentes = 1)

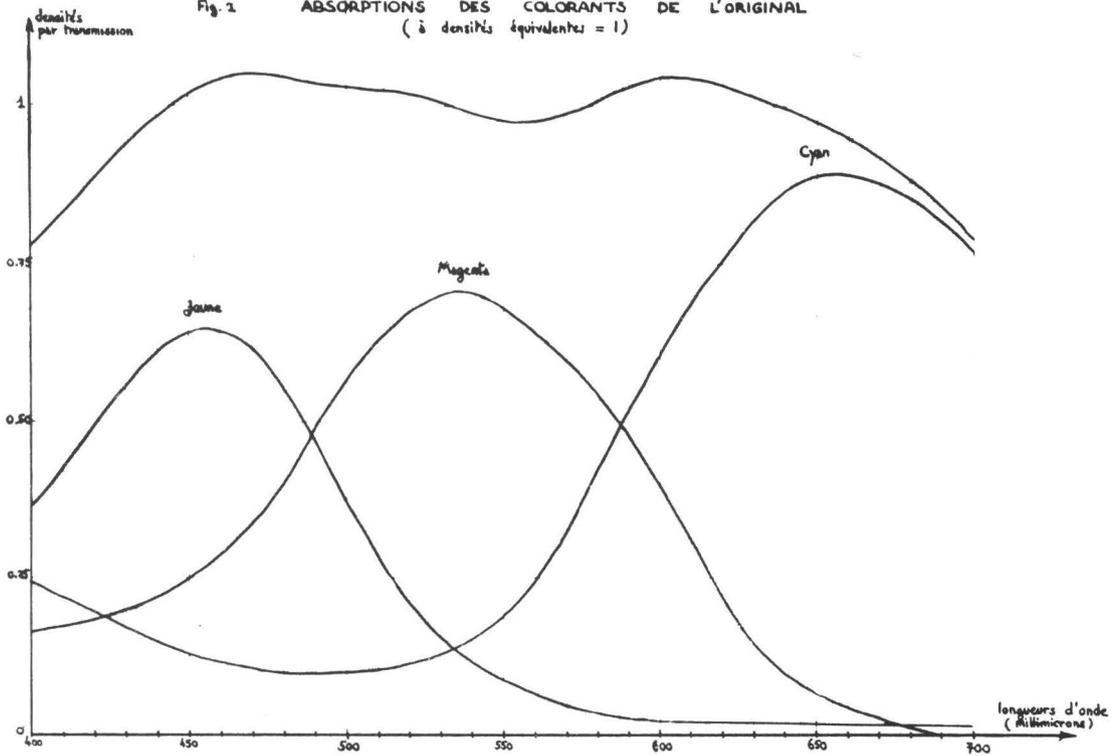
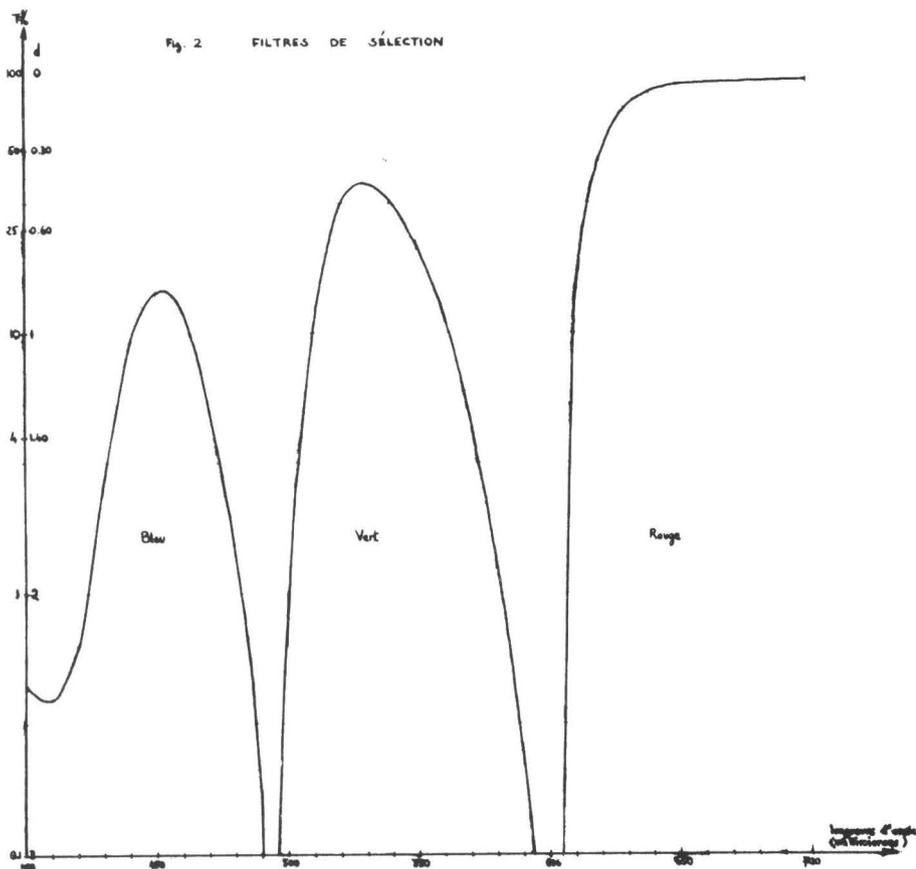


Fig. 2 FILTRES DE SÉLECTION



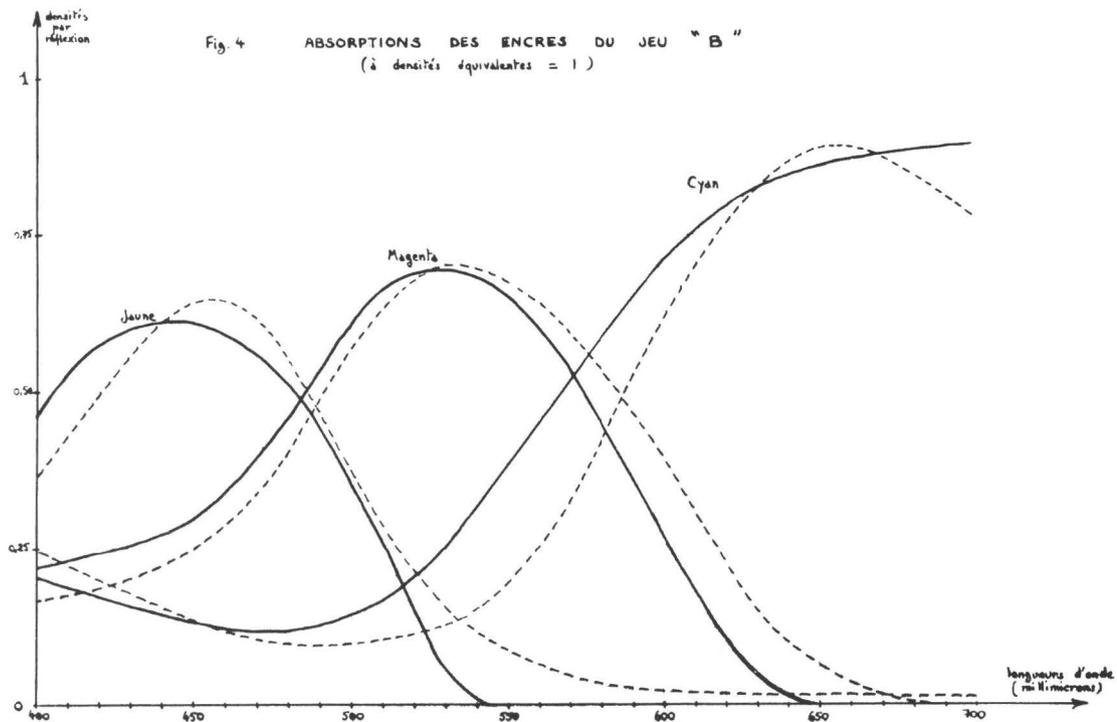
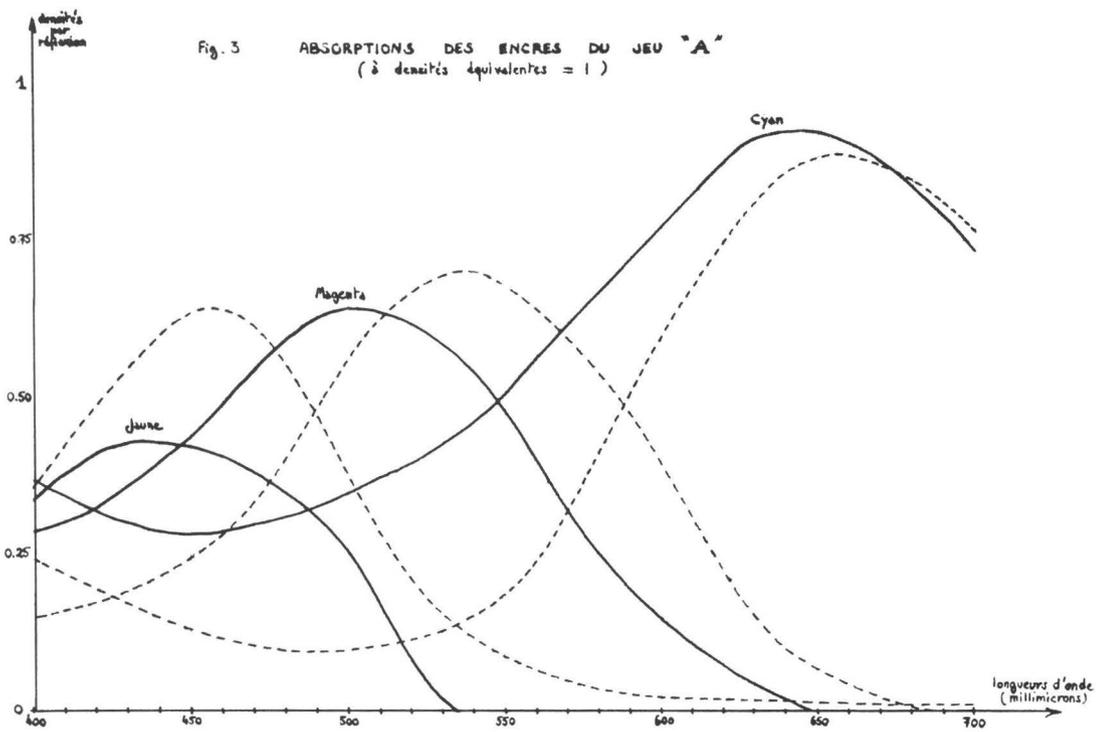
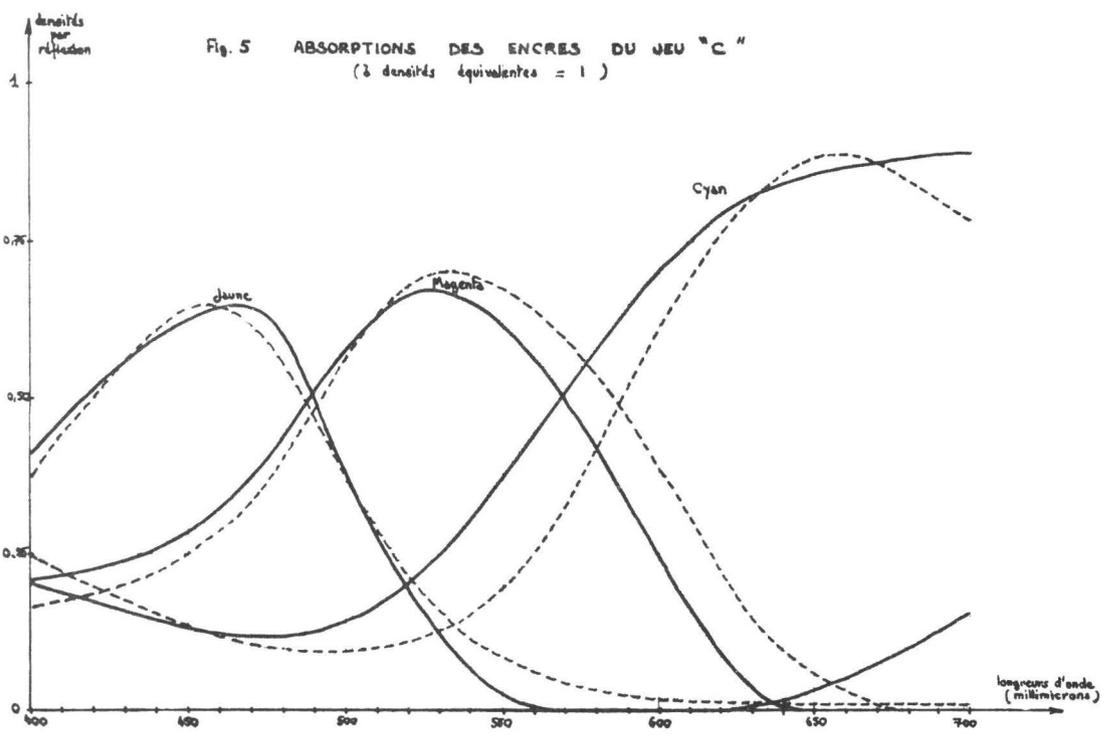


Fig. 5 ABSORPTIONS DES ENCRES DU JEU "C"
(3 densités équivalentes = 1)



MÉTHODES COLORIMÉTRIQUES DE COMPARAISON DES IMPRESSIONS TRICHROMES

Etude de la reproductibilité des couleurs

par M. EDELMANN

Ingénieur à la S.P.E.F. Ch. LORILLEUX
Secrétaire Général de l'Association Française
de Colorimétrie

L'objet de cette communication est de définir des méthodes colorimétriques simples susceptibles de constituer des critères objectifs en vue d'une classification des séries de couleurs primaires selon leurs qualités pratiques pour la trichromie.

Cette étude critique des problèmes industriels posés par la reproduction des couleurs par impression montre que les propriétés des couleurs primaires peuvent se grouper en deux classes importantes et distinctes:

1. — Reproductibilité chromatique
2. — Caractéristiques spectrales.

La première classe concerne les phénomènes visuels qui contribuent à la ressemblance aussi parfaite que possible de la reproduction au document original dont on a fabriqué le « fac simulé ».

La deuxième classe concerne les phénomènes physiques qui interviennent au moment de la sélection et qui entraînent des corrections par la méthode de masking par exemple.

Nous essayerons de montrer que les deux classes de propriétés citées peuvent toutes les deux se caractériser par des méthodes purement colorimétriques.

Dans ce but, deux méthodes distinctes sont proposées. Un grand soin a été apporté pour que ces méthodes s'adaptent exactement aux nécessités industrielles, c'est-à-dire que les jugements de valeurs auxquels elles aboutissent reflètent fidèlement les qualités et les défauts effectivement observés dans la pratique.

REPRODUCTIBILITE CHROMATIQUE

a) Chromaticité.

A la suite d'une série d'essais systématiques l'expérience montre que le lieu géométrique de toutes les couleurs qui peuvent être reproduites par impression tramée (typo ou offset) de trois encres primaires, est constitué par la surface d'un hexagone tracé sur le diagramme chromatique de la C.I.E.

La position et la grandeur de cet hexagone dépendent aussi bien des propriétés des trois encres primaires employées que de la nature du support, de l'ordre de rotation des couleurs, de la charge et de toutes les autres conditions d'impression.

Il en résulte que cette méthode permet de donner une image objective et analytique des résultats obtenus dans des conditions pratiques de travail.

Elle permet de classer par ordre croissant d'efficacité, un certain nombre de séries de couleurs primaires à condition que les impressions soient réalisées d'une façon rigoureusement identique.

Elle permet aussi de dire à l'avance si une certaine couleur définie par ses coordonnées trichromatiques

peut être ou non reproduite dans les conditions d'impression examinées.

De nombreux autres problèmes liés à la trichromie peuvent être étudiés par cette méthode.

b) La vivacité de la teinte.

Une grave restriction doit être apportée à la représentation plane décrite ci-dessus. En effet, pratiquement des couleurs de même chromaticité mais de clartés différentes se présenteront avec des qualités pratiques très distinctes. C'est pourquoi certains auteurs ont-ils eu recours à une représentation spatiale des propriétés chromatiques des encres d'imprimerie.

Un examen plus approfondi révèle le caractère plutôt didactique d'une telle représentation qui ne se prête pas facilement à l'établissement d'une cotation reflétant une échelle pratique de valeurs.

A cette occasion la notion de « vivacité de teinte » est discutée et l'on montre que la notion de pureté colorimétrique est inadéquate pour aborder les problèmes pratiques posés par l'utilisation des colorants pigmentaires.

La « vivacité de teinte » dépend à la fois de la pureté colorimétrique et de la valeur Y de la clarté (d'où nécessité d'une représentation spatiale). lisible dans l'industrie, nous chercherons à définir analytiquement un paramètre colorimétrique nouveau capable d'exprimer globalement la « vivacité de teinte ». Nous nous appuierons pour cela sur les théories des couleurs marginales, des couleurs « parfaites » et des couleurs optima ou caractéristiques (Schrödinger, Godlove, Mac Adam, Richter, etc.).

Les principes de ce travail ont été exposés au congrès de Toulouse en mars 1958 et cette étude a été menée à bonne fin dans les mois qui suivirent. La forme définitive de l'équation proposée a été présentée au XXXI^e Congrès de chimie industrielle en septembre 1958

LA PURETE D'UNE COULEUR

La définition de la pureté est basée sur l'étude du système monochromatique. Reprenons la couleur K de la figure I et dont le facteur de luminance est Y.

Pour reproduire une couleur semblable à la couleur K, il faut mélanger à la couleur spectrale d'une clarté Y_b , une certaine quantité de blanc de clarté Y_s .

Dans ce mélange la somme des facteurs de luminance ajoutées est égale à la clarté de la couleur K qui est imitée.

c'est-à-dire:

$$(3) \quad Y_s + Y_b = Y$$

LES COULEURS OPTIMA

Dans ces conditions on appelle facteur de pureté la grandeur P telle que :

$$(4) \quad P = \frac{Y_a}{Y}$$

En d'autres termes, la pureté P est une fraction plus petite ou égale à l'unité qui exprime la part relative prise par la couleur spectrale dans le mélange reproducteur; couleur monochromatique plus blanc.

LA VIVACITE D'UNE COULEUR

Les définitions précédentes ont toujours paru suffisantes pour les applications de la colorimétrie à l'étude des lumières colorées, à l'étude de l'éclairage et en général de tous les phénomènes additifs à haut niveau d'éclairage.

En effet, pour un éclairagiste le « noir » n'existe pas en soi. Pour lui il y a simplement *plus ou moins* de lumière. Cette propriété est parfaitement définie par la clarté Y. D'une façon tout à fait indépendante la pureté définit les proportions relatives de couleur et de blanc.

Mais pour ceux qui manipulent des couleurs matérielles formées de pigments dispersés ou de colorants dissous il en est tout autrement. Une des qualités d'un bon pigment réside dans sa « force colorante » c'est-à-dire dans sa capacité d'absorber le plus de lumière possible. Il en résulte donc une clarté d'autant plus faible. Mais en même temps on demande à ces mêmes pigments de fournir une coloration aussi vive que possible ce qui paraît contradictoire car cette propriété se traduit par une clarté aussi forte que possible.

Pour chaque teinte il doit exister un compromis entre la plus forte absorption et la plus forte coloration possible.

La pureté est insuffisante pour caractériser ces importantes propriétés des dispersions de pigments. En effet, certains pigments possèdent une pureté élevée, mais une clarté si faible que la couleur paraît foncée et sale. Certains problèmes industriels font rechercher, au contraire, des pigments aux teintes vives ce qui sacrifie la pureté au profit de la clarté.

On voit que les problèmes colorimétriques ne sont plus du tout les mêmes, alors que pour l'éclairagiste une certaine quantité de lumière ne contient que du blanc et de la couleur, pour le coloriste une certaine quantité de pigments dispersés contient à la fois de la couleur, du blanc et du noir.

En résumé l'Industrie chimique recherche des pigments dont la dispersion absorbe le plus de lumière possible, mais en même temps qui donnent un aspect visuel de plus grande coloration possible avec un minimum de blanc et un minimum de noir.

Le terme « vivacité de teinte » a été consacré par l'usage pour désigner cette qualité qui paraît une fonction à la fois de la pureté et de la clarté.

On voit qu'une propriété colorimétrique très importante des matières colorantes se manifeste par la perception globale de vivacité de teinte mais qui en colorimétrie s'exprime par deux paramètres jusqu'à présent indépendants: la pureté d'une part et la clarté d'autre part.

L'objet de ce travail est une tentative pour mettre en évidence une fonction qui lie ces deux paramètres colorimétriques et pour donner une expression globale de la vivacité de teinte. L'étude des couleurs optima et des couleurs caractéristiques permet de fonder la théorie de la vivacité des couleurs matérielles.

Il est très fréquent que pour un éclairage donné des couleurs qui apparaissent avec des colorations identiques possèdent des compositions spectrales différentes. C'est ainsi que, à un point bien déterminé du diagramme chromatique (fig. 1) il correspond théoriquement une infinité de courbes spectrales variées. Toutes ces couleurs possèdent la même longueur d'onde dominante et la même pureté, mais diffèrent par leur luminosité.

Parmi toutes ces couleurs il en est une qui possède de la luminosité la plus forte. Celle-ci est appelée: « Couleur optimum ».

Schrödinger (1) fut le premier à démontrer que *l'intensité maximum est obtenue en prenant une courbe spectrale telle qu'en tous ces points l'ordonnée est, soit nulle, soit égale à l'unité*. Dans le cas d'une couleur optimum le spectre est divisé en bandes telles que pour certaines l'absorption soit totale, et pour d'autres la transmission soit complète. On démontre en outre que ce nombre de bandes ne dépasse pas trois.

COULEURS CARACTERISTIQUES

La définition des couleurs caractéristiques proposée par Bouma est la suivante:

Ce sont « les spécimens les plus riches en couleurs parmi les couleurs optima ».

Choisissons une couleur optimum d'une longueur d'onde dominante donnée λ_D . Nous allons faire varier sa pureté en partant du blanc. Celui-ci est formé par la bande spectrale entière (pureté nulle). Créons une bande d'absorption à chaque extrémité du spectre de telle sorte que la coloration désirée apparaisse; à ce moment la pureté prend une valeur faible qui va aller croissant au fur et à mesure que l'on va élargir les bandes d'absorption extrêmes. Nous allons poursuivre cette opération en réglant la largeur des deux bandes d'absorption de telle sorte que la teinte reste constante. Avec l'accroissement de la pureté nous constaterons une augmentation de l'impression colorée. Mais en même temps la clarté diminuera puisque les bandes absorbées sont de plus en plus larges. Il est hors de doute que pour une bande spectrale très étroite dont la pureté est voisine de l'unité, la clarté est très petite et la sensation colorée est faible.

Il s'ensuit que la couleur cherchée qui donne la plus forte impression colorée ne se situe ni au voisinage du blanc où la pureté est faible, ni au voisinage de la couleur spectrale pure où c'est la clarté qui est faible. Elle se situe quelque part entre ces deux extrêmes où il s'établit un compromis entre les conditions contradictoires de pureté élevée et de clarté élevée (Schrödinger 7).

La couleur caractéristique ainsi définie est celle qui possède une « Vivacité » maximum.

COULEURS MATERIELLES

Nous allons montrer qu'il est possible de caractériser analytiquement la « vivacité » d'une couleur réelle obtenue par dispersion de pigments ou de colorants. Pour cela, il suffira de rapporter ses propriétés colorimétriques aux propriétés correspondantes de la couleur optimum homologue; c'est-à-dire de la couleur ayant même longueur d'onde dominante et même pureté.

Cette comparaison entre les couleurs réelles et idéales se fera en trois étapes:

a) Définition des propriétés colorimétriques de la couleur réelle:

Teinte (longueur d'onde dominante λ_D)

Pureté (P) et clarté (Y).

Une mesure rapide sur un colorimètre approprié permet d'atteindre ces résultats.

b) Calcul de la clarté maximum Y_m de la couleur optimum homologue.

c) Utilisation d'une équation que l'on établira plus loin et destinée à exprimer les qualités relatives de la couleur réelle par rapport à la couleur idéale homologue.

Dans cette équation on fait entrer les valeurs Y, P et Y_m et l'on calcule la valeur d'une nouvelle grandeur que nous avons appelé « facteur de vivacité ».

ABSORPTIONS ET REFLEXIONS PARASITES

La figure II représente schématiquement la courbe de réflexion spectrale d'une couleur réelle et d'une couleur optimum homologue.

La comparaison de ces deux courbes montre que la couleur réelle est très loin de diffuser 100 % des rayonnements monochromatiques situés dans la zone où ces conditions sont parfaitement réalisées par la couleur optima idéale.

La couleur réelle présente donc des absorptions parasites par rapport à la couleur idéale.

Au contraire dans la bande spectrale où la couleur optimum absorbe la totalité des rayons lumineux, la couleur réelle les diffuse dans des proportions plus ou moins importantes.

Cela signifie que par rapport à la courbe idéale, la couleur réelle présente des réflexions parasites.

Nous allons essayer d'exprimer analytiquement ces écarts parasites entre la courbe spectrale réelle et une courbe idéale.

EXPRESSION ANALYTIQUE DE LA VIVACITE

La vivacité peut être représentée par une expression algébrique constituée par le produit de trois termes.

- Par le premier terme nous allons exprimer la quantité de couleur pure contenue dans l'échantillon coloré.
- Le deuxième terme exprimera la gravité des absorptions parasites.
- Le troisième terme traduira la gravité des réflexions parasites.

A. — TERME « COULEUR »

Le terme « couleur » est immédiatement établi si l'on se reporte à la définition de la pureté § 3.

En effet au lieu de considérer la couleur elle-même, raisonnons sur le contretype réalisé dans le système monochromatique plus blanc où la radiation monochromatique de luminosité Y_s donne la même impression colorée s'il est additionné de blanc.

Il est évident que plus la couleur réelle donne une impression colorée forte, plus la clarté Y_s de la longueur d'onde dominante sera élevée. Cette clarté convient donc parfaitement pour exprimer la quantité de couleur contenue dans l'échantillon connaissant la pureté P et la clarté Y de cet échantillon on calculera le terme couleur d'après la relation (5).

$$(5) \quad Y_s = P Y.$$

B. — TERME « ABSORPTION PARASITE »

La clarté Y de la couleur est rapportée à la perception de lumière provoquée par une couche d'oxyde de magnésium considérée comme référence ayant une valeur unité.

Par rapport à cette référence la lumière qui manque à la couleur pour être blanche peut se chiffrer par l'expression (6):

$$(6) \quad n = (1 - Y).$$

Sachant que la lumière qui manque à la couleur a été absorbée par les pigments, la valeur du paramètre n ainsi défini exprimera en même temps l'importance de l'absorption provoquée par elle.

Si l'on écrit de même $n' = (1 - Y_m)$ l'absorption correspondante de la couleur optimum homologue, il est facile d'exprimer l'absorption relative de la couleur réelle par rapport à la couleur idéale parfaite en écrivant le rapport (7):

$$(7) \quad Y = \frac{1 - Y_m}{1 - Y}$$

Cette forme analytique chiffrera les absorptions parasites de la couleur examinée.

Lorsque la couleur réelle est elle-même optimum, on a l'égalité $Y = Y_m$ (7) et le rapport est égal à l'unité.

Dans le cas général Y est plus petit que Y_m donc la fraction est plus petite que l'unité.

C. — TERME « REFLEXION PARASITE »

Les réflexions parasites ont lieu dans les régions du spectre où les couleurs sont complémentaires à celles réfléchies par les pigments examinés. Ces réflexions apportent des radiations supplémentaires qui se combineront donc avec les radiations déjà existantes pour donner du blanc. Or la quantité de blanc contenue dans la couleur s'exprime, comme nous l'avons vu plus haut, par l'expression analytique $(1 - P)Y$.

Comme précédemment $(1 - P)Y_m$ exprime la quantité de blanc contenue dans la couleur idéale.

Cette réflexion parasite s'exprime donc par le rapport suivant:

$$(8) \quad \frac{Y_m (1 - P)}{Y (1 - P)}$$

Soit après simplification par le rapport $\frac{Y_m}{Y}$.

En effectuant le produit des trois termes décrits ci-dessus, on obtient

$$(9) \quad V = P Y \cdot \frac{1 - Y_m}{1 - Y} \cdot \frac{Y_m}{Y}$$

Cette expression peut se simplifier à son tour en divisant haut et bas par Y ce qui donne la forme définitive:

$$(10) \quad V = P Y_m \cdot \frac{1 - Y_m}{1 - Y}$$

où P est la pureté de la couleur réelle

Y sa clarté par rapport au blanc de magnésie

Y_m la clarté de la couleur optimum homologue.

COEFFICIENT DE REDUCTION

Dans l'équation (10) donnant la vivacité, si nous remplaçons la fraction $\frac{1 - Y_m}{1 - Y}$ par le symbole γ .

que nous avons déjà posé dans la relation (7) il vient:

$$(11) \quad V = \gamma \cdot P Y_m.$$

L'examen de cette relation permet d'énoncer le théorème suivant:

« La vivacité de la couleur optimum n'est autre que la clarté de la couleur spectrale monochromatique qu'il faut mélanger à du blanc pour la reproduire ».

En effet, lorsque l'on applique la relation (11) à une couleur optimum, on a $Y=Y_m$ et d'après la relation (7) $\gamma=1$.

Il s'en suit que dans ce cas particulier $V=P Y_m$ ce qui démontre le théorème puisque $Y_s=P Y_m$.

Nous conviendrons d'appeler « coefficient de réduction » la fraction γ . En effet, celui-ci est toujours plus petit ou égal à l'unité.

Il découle de ce qui précède une nouvelle définition de la vivacité que l'on peut énoncer comme suit:

« La vivacité d'une couleur matérielle est chiffrée par la fraction γ de la clarté de la couleur spectrale monochromatique permettant de reproduire avec addition de blanc, la couleur optimum ayant même pureté et même longueur d'onde dominante.

LE FACTEUR RELATIF DE VIVACITE

La vivacité définie par la relation (10) à la dimension d'une énergie. C'est une fraction de clarté. Elle sera donc très variable selon la région spectrale de la couleur. Il serait souhaitable d'exprimer cette notion avec un coefficient sans dimension. Cela est facile puisque pour chaque longueur d'onde dominante il existe une couleur caractéristique et une seule dont la vivacité est maximum. Il suffira de rapporter la vivacité de la couleur matérielle à la vivacité de la couleur caractéristique de même teinte. Si P est la pureté de la couleur matérielle, Y_m la luminosité de la couleur optimum homologue, P_c et Y_c respectivement la pureté et la clarté de la couleur caractéristique de même teinte; le facteur relatif de vivacité sera donné par l'expression suivante:

$$(12) \quad V = \gamma \cdot \frac{P Y_m}{P_c Y_c}$$

Dans ces conditions le facteur relatif de vivacité est un nombre toujours plus petit ou égal à l'unité. Sa grandeur est indépendante de la longueur d'onde dominante et ne dépend que de la comparaison de la couleur matérielle à la couleur caractéristique de même teinte.

VERIFICATION EXPERIMENTALE

Sur un papier couché aussi constant que possible, nous avons imprimé un certain nombre de couleurs en réalisant avec chacune d'elles un grand nombre d'épreuves à charges variables.

Nous avons obtenu ainsi avec la même encre, des échantillons de couleurs voisines mais d'intensité et de pureté différentes. En effet, une très faible épaisseur d'encre d'imprimerie laisse voir la couleur blanche du papier et l'épreuve apparaît lavée de blanc donc de pureté faible. Cette pureté augmente régulièrement en déposant des épaisseurs d'encres de plus en plus fortes. Pour les très fortes épaisseurs d'encres la pureté est relativement élevée mais par

contre la luminosité de l'échantillon est nettement affaiblie. En effet, l'encre étant très concentrée en pigments, peu de lumière est diffusée.

L'examen visuel de ces séries d'impressions révèle une très nette variation de la « vivacité » de la teinte. L'un des échantillons qui comporte une charge moyenne d'encre apparaît à tous les observateurs comme possédant la couleur la plus vive. Les échantillons obtenus avec des épaisseurs d'encres plus faibles sont de plus en plus lavés tandis que les échantillons dont la couche d'encre est plus épaisse sont de plus en plus rabattus au noir.

Des mesures colorimétriques ont été effectuées sur tous ces échantillons et leurs facteurs de vivacité calculés selon la formule (10). L'examen des résultats montre que l'échantillon visuellement choisi comme ayant la teinte la plus vive correspond à la valeur la plus forte du « facteur de vivacité » V .

En portant les facteurs de vivacité (V) en abscisse et la clarté (Y) des échantillons en ordonnées pour une même série d'impressions la courbe présente l'aspect de la figure III. Elle passe par un maximum très net qui correspond à la plus forte vivacité.

Les deux branches figurent les deux modes de dégradation l'une représentant la dilution avec le blanc, tandis que l'autre, le rabattement avec le noir.

L'étude approfondie de la validité d'une telle représentation n'a pas encore pu être réalisée et l'on ne présente cette relation qu'à titre provisoire comme une hypothèse de travail.

Cependant, déjà un certain nombre de propriétés curieuses peuvent être mises en évidence lorsque l'on étudie par exemple la vivacité d'une série d'impressions à charges variables en fonction de la clarté Y .

L'existence de relations simples entre ces grandeurs permet de considérer provisoirement une telle définition de la vivacité connue commode.

CARACTERISTIQUES SPECTRALES

L'auteur montre que les caractéristiques spectrales d'une couleur intervenant dans la sélection et le calcul des corrections par masques sont directement liées à la *vivacité* définie plus haut. Il montre que ce dernier paramètre est susceptible de jouer le rôle d'une échelle de valeurs permettant la cotation des qualités physiques des couleurs primaires en vue des problèmes de sélection.

Une telle cotation fondée sur des bases théoriques plus élaborées semble plus rationnelle que des cotations empiriques telles que celles de la L.T.F. par exemple.

BIBLIOGRAPHIE

1. F. BLOTTIAU - Rev Opt. 32 85 - 1943 - Filtrés colorimétriques idéaux.
2. I. H. GODLOVE - J. Opt. Soc Amer 37 778 - 1947 - Limiting colours dues to ideal absorption bauds.
3. R. LUTHER - Techn. Physk. 8 540 1927 - Aus dem gebrete des Farbreizmetrik.
4. D. L. Mac ADAM - J. Opt. Soc. Amer. 25 249 - 1935 - Theory of the maximum Visual efficiency of colored materials.
5. H. E. I. NEUGEBAUER - Sur la théorie des Mehrfarben-drucks - Diss T. H. Dresden 1935.
6. RICHTER - Grundriss der Farbenlehre der Gegeruwart (Steinkopff, Dresden 1940).
7. SCHRODINGER - Am. Ohysik 62 603 - 1920 - Théorie der Pigmente von grösster Leuchtkraft.

L'UTILISATION INDUSTRIELLE DE LA COLORIMÉTRIE

LE CONTRETYPAGE DES COULEURS

par Fr. BRAUN

*Chargé de Recherches au Laboratoire
de Colorimétrie du Pr. Oscar Peters
Université Catholique de Louvain.*

L'application de méthodes colorimétriques dans l'industrie a pris dans ces dernières années une importance et un développement, qui lui confèrent un caractère d'actualité brûlante. A une époque où l'accroissement de la productivité est devenu un critère vital pour l'industrie, il est intéressant de pouvoir affirmer que la Colorimétrie est un agent puissant et efficace pour améliorer le rendement d'une exploitation.

J'ai eu l'occasion d'étudier et dans nombre de cas de mettre au point l'application de telles méthodes dans les domaines les plus divers et les plus inattendus.

Je me propose de vous parler aujourd'hui du problème le plus courant, le plus important aussi dans le domaine de l'utilisation des colorants et des pigments: le contretypage de la couleur.

Avant d'aborder ce sujet, je tiens à mettre en évidence qu'il ne suffit pas d'acquérir un appareil de mesure pour obtenir sans coup férir les résultats de l'application de ces méthodes colorimétriques. Cette application demande en effet en tout premier lieu une assimilation parfaite du technicien à ces méthodes; ensuite une progression méthodique, lente et progressive et surtout une appropriation *sévère* des conditions de travail à l'atelier. Il est compréhensible en effet, qu'à partir du moment où vous introduisez dans le contrôle de votre exploitation une méthode de mesure précise, il faut également que toutes les conditions de travail à l'atelier répondent à ce même critère de précision. Il ne peut plus être question dans ces conditions, d'à peu près à l'atelier, Il est d'ailleurs remarquable de constater que chaque fois que l'on introduit dans une exploitation des méthodes rationnelles de mesure colorimétrique, cette application révèle des déficiences, des lacunes parfois grossières, dans la fabrication, lacunes qui seraient restées autrement insoupçonnées par le chef d'entreprise.

Je reviens, après cette petite digression, au problème du contretypage et je me propose de vous l'ex-

poser en le prenant à l'origine pour aboutir à la solution pratique appliquée actuellement dans plusieurs entreprises.

Le contretypage consiste à déterminer à priori la formule de mélange de couleurs qui permettra de reproduire identiquement un échantillon-type. Il est très difficile de déterminer cette formule directement avec précision. On procède pratiquement en deux étapes: la première étape consiste à pré-déterminer une formule approximative; la seconde consiste en une correction rationnelle de la formule pour obtenir une identité satisfaisante.

Le contretypage peut être basé sur la théorie bien connue de la tri-chromie.

La trichromie permet, en partant de trois colorants ou pigments de base, un bleu, un jaune et un rouge, de réaliser par mélanges binaires ou ternaires, toutes les teintes et tous les tons limités par un champ représenté à la fig. 1.

L'étendue de ce champ dépend des qualités de pureté des trois colorants ou pigments de base utilisés. Le choix de ces trois colorants: bleu, jaune et rouge, est une conséquence directe des propriétés soustractives des mélanges pour les pigments et les colorants.

Parmi tous les tons qu'il est possible de réaliser par ces mélanges ternaires, il en est un qui se situe au centre du diagramme trichromatique C.I.E. aux coordonnées $x=0,310$ et $y=0,316$ ou au centre du diagramme de Hunter aux coordonnées $a=0$ et $\beta=0$. Ce mélange ternaire correspond à un gris ternaire de rabatement.

Il résulte de ce fait que tout mélange ternaire quelconque des trois colorants de base est toujours constitué:

1. — d'un mélange binaire d'espèce qui détermine la teinte
2. — d'un mélange ternaire de rabatement qui détermine la valeur du rabatement de la couleur c'est-à-dire le ton.

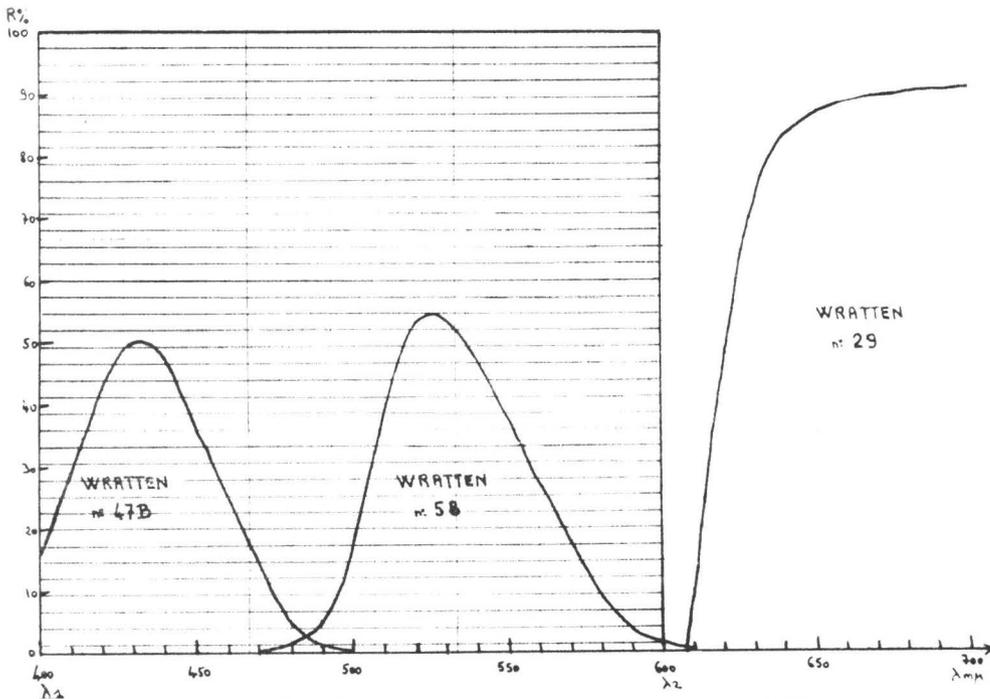
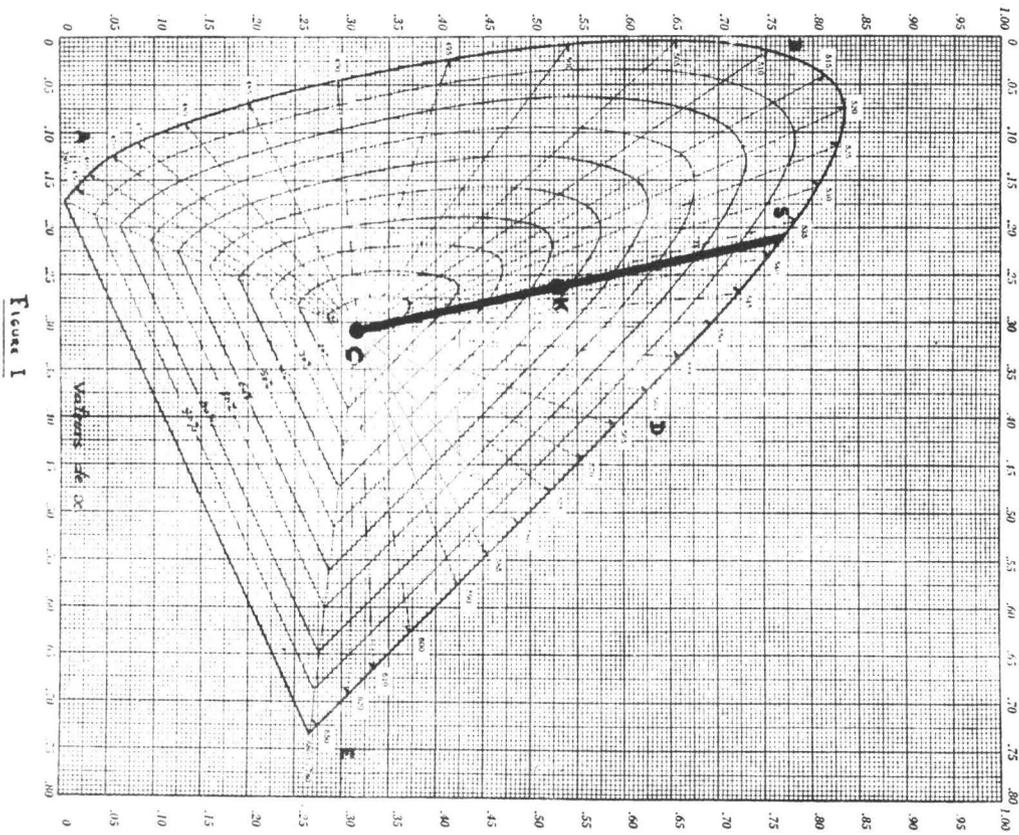


Fig. 2 CYAN IDEAL PAR RAPPORT A UN JEU DE FILTRES.

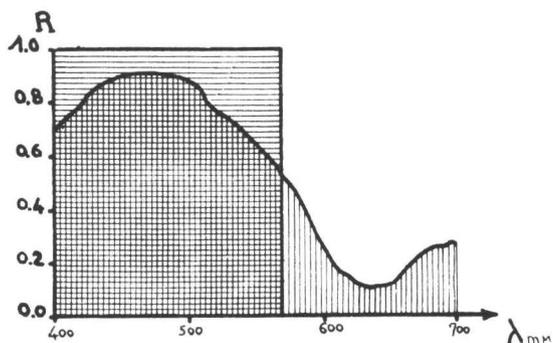
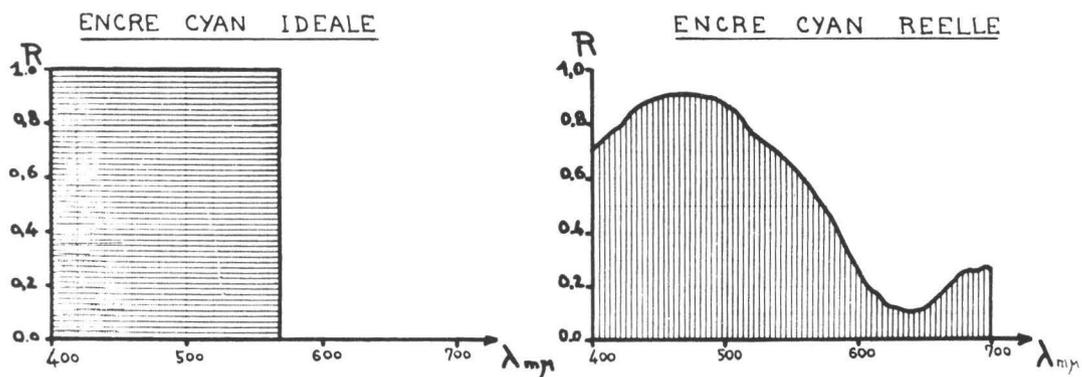


Fig. 3 ABSORPTIONS ET REFLEXIONS PARASITES

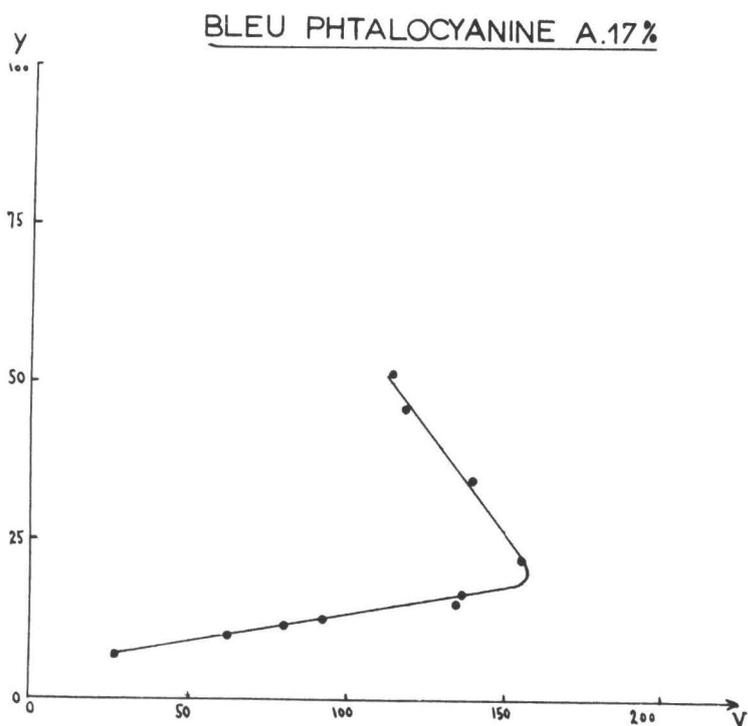


Fig. 4. LE FACTEUR DE VIVACITE

Je m'explique par un exemple :

Supposons que le mélange du gris ternaire de rabatement soit réalisé pour simplifier, par parties égales des trois colorants de base :

0,333 de bleu+0,333 de jaune+0,333 de rouge

et soit une formule ternaire quelconque :

0,5 de bleu+0,4 de jaune+0,1 de rouge

Ce mélange peut être décomposé comme suit :

1. — un mélange ternaire de rabatement de

0,1 de bleu+0,1 de jaune+0,1 de rouge

2. — un mélange binaire d'espèce de

0,4 de bleu+0,3 de jaune

Je vous présente ici un travail réalisé avec des colorants de teinture. Les trois planches supérieures représentent les différentes concentrations et les différents rabattements pour les trois colorants de base bleu, jaune et rouge. Les autres planches représentent les mêmes tons pour des mélanges binaires des colorants de base.

A l'aide de ce travail préliminaire il est possible de pré-déterminer une formule approximative pour une teinte quelconque par simple comparaison visuelle puisque chacun des tons de ces planches correspond à une proportion de mélange bien défini.

Il est possible aussi d'analyser la couleur à reproduire, et de déterminer sa recette approximative en comparant ses coordonnées avec les coordonnées qui ont été mesurées pour chaque ton de chacune des planches. Fig. 3.

Remarquons ici que le champ délimité par la trichromie peut se révéler trop restreint pour répondre à toutes les exigences du coloriste. Fig. 4.

Il est possible d'étendre ce champ en utilisant des colorants intermédiaires plus purs que les mélanges trichromes, tels que : deux verts, deux violets et un orange. Cette extension du champ des possibilités a donné naissance à la théorie octochrome.

Nous nous trouvons donc ici devant une méthode qui permet de déterminer à priori une recette de teinture ou une formule de mélange de pigments approximative. Le degré d'approximation dépend du nombre de mélanges binaires que l'on utilisera dans la réalisation de ces planches. Dans le travail que nous avons exécuté, nous avons réalisé trois mélanges binaires entre chaque colorants de base :

75 % + 25 %, 50 % + 50 % et 25 % + 75 %.

Sur ces bases le travail comporte l'exécution de près que 800 tons différents. Il s'agit donc d'un travail assez considérable pour enlever à la méthode une partie de son intérêt pratique.

Nous avons alors étudié la possibilité de simplifier ce travail et d'en diminuer l'ampleur en procédant par diagrammes et réseaux. Fig. 5.

Nous pouvons en effet réaliser uniquement les trois colorants de base, quelques rabattements de ces colorants de base et quelques mélanges binaires. Après analyse il nous est permis de les situer dans un diagramme trichromatique, celui de Hunter par exemple. Les échantillons réalisés sont représentés par des points sur la figure. Nous pouvons ensuite tracer sur la diagramme en joignant les points et en procédant par extrapolation, toutes les lignes de mélanges et de puretés. Ce diagramme correspondra à la tranche inférieure des planches. Nous réaliserons ensuite le même travail en mélangeant les couleurs de base avec des proportions déterminées de blanc par exemple : 30 %, 55 %, 75 %, 90 % pour les pigments ou en faisant varier la concentration s'il s'agit de colorants de teinture. Nous obtiendrons ainsi des diagrammes correspondant aux autres tranches des planches. Le

travail préliminaire est ainsi considérablement simplifié et permet d'atteindre une approximation plus serrée.

Il suffira ensuite pour déterminer la formule de contretypage d'analyser l'échantillon à contretyper, de le situer dans un des diagrammes, en utilisant celui qui correspond à l'intensité de l'échantillon-type et de déterminer sa formule. Dans la figure la situation de l'échantillon-type E, correspond à la formule suivante :

concentration : 2 %

mélange binaire : 32 % de bleu+68 % de jaune

rabatement : 43 % de gris.

Notons que le travail préliminaire pour la réalisation de ces diagrammes, ne doit être fait qu'une fois pour toutes pour les trois colorants de base utilisés.

Le même procédé peut être réalisé en octochrome. Fig. 6.

La formule ayant été prédéterminée de façon approximative, demande à être corrigée pour obtenir une reproduction répondant à une tolérance fixée suivant les conditions d'exploitation ou suivant les exigences du client. La précision de la correction et par conséquent de la reproduction, peut être poussée aussi loin que l'on veut et ne dépend que de la limite de précision de mesure de l'appareil utilisé.

Dans le système de tolérances élaboré par Judd et standardisé par le N.B.S., une unité d'écart N.B.S. correspond au plus petit écart visuel perceptible par un individu normal et dans des conditions normales d'observation. Nous pouvons corriger notre formule approximative avec une limite d'écart de une unité N.B.S.

A cet effet nous utiliserons un papier millimétré de format ordinaire et nous situerons l'échantillon-type à peu près au centre du papier millimétré et en disposant l'échelle des α (abscisses) et l'échelle des β (ordonnées) en tenant compte des coefficients α et β de l'échantillon-type analysé. Nous traçons ensuite la droite d'espèce λ en utilisant la relation :

$$\text{tg} = \frac{\beta}{\alpha}$$

Fig. 7

Nous tracerons également la droite de pureté en l'orientant approximativement selon sa direction dans le diagramme Hunter pour la valeur correspondante de λ . Enfin nous tracerons à partir de la situation E de l'échantillon-type, une circonférence avec un rayon R, correspondant à une unité d'écart. Les valeurs de ce rayon pour une unité et en fonction de l'intensité de l'échantillon-type, sont données dans des tables spéciales du Recueil de Tables et Formules que j'ai fait édité. Si la tolérance est de 2 ou 3 unités N.B.S. On utilisera comme rayon la valeur relevée dans la table multipliée par 2 ou par 3.

Ce travail préliminaire étant réalisé, on analysera l'essai exécuté avec la formule approximative et on le situera également dans le diagramme, par exemple en R_1 .

Il s'agit maintenant d'interpréter la situation de l'essai R_1 par rapport à la situation de E et de déterminer la correction. Cette interprétation est basée sur les caractéristiques mêmes de la couleur, c'est-à-dire :

- a) l'espèce
- b) la pureté
- c) l'intensité.

On débutera toujours par la correction d'espèce, c'est-à-dire par une correction du mélange binaire. Quand cette correction est réalisée de telle sorte que

l'essai R_2 se situe sur la droite d'espèce, on procède à la correction de pureté et d'intensité, par échelons successifs.

Quatre cas peuvent se présenter:

1^{er} cas: la pureté est plus grande et l'intensité plus petite.

On corrige par une diminution de la concentration pour les colorants de teinture ou par une augmentation de la proportion de blanc pour les pigments.

2^e Cas: la pureté est plus grande et l'intensité plus grande:

On corrige par une augmentation du gris de rabatement dans la formule.

3^e Cas: la pureté est plus petite et l'intensité plus petite:

On corrige en diminuant la proportion de gris de rabatement dans la formule.

4^e Cas: la pureté est plus petite et l'intensité plus grande:

On corrige en augmentant la concentration pour les colorants de teinture ou en diminuant la proportion de blanc pour les pigments.

La figure 7 représente un exemple de correction.

La formule de départ était:

concentration: 0,31 %

rabatement: 53 %

mélange binaire: 70 % de jaune + 30 % de rouge.

La situation de R_1 indique un léger excès de rouge; on corrigera dans le mélange binaire qui devient:

mélange binaire: 71% de jaune + 29 % de rouge, les autres éléments restant inchangés.

La nouvelle situation R_2 indique un excès de pureté avec une intensité trop faible — 1^{er} cas — On corrige donc la concentration sans changer les autres éléments. La formule devient:

concentration 0,28 %

rabatement: 53 %

mélange binaire: 71 % de jaune + 29 % de rouge.

La nouvelle situation R_3 indique toujours un excès de pureté, mais cette fois avec une intensité trop forte — 2^e cas — On corrige en augmentant le gris de rabatement et la formule devient:

concentration: 0,28 %

rabatement: 54 %

mélange binaire: 71 % de jaune + 29 % de rouge.

La nouvelle situation R_4 indique toujours un excès de pureté, mais à nouveau avec une insuffisance d'intensité — 1^{er} cas — On corrige donc encore par une diminution de la concentration, formule:

concentration: 27 %

rabatement: 54 %

mélange binaire: 71 % de jaune + 29 % de rouge.

La dernière situation R_5 , à l'intérieur du cercle de 1 unité N.B.S. et avec une intensité 0,382 pour 0,380, peut être considérée comme satisfaisante pour assurer l'identité avec l'échantillon-type.

Au début il est conseillable de scinder toutes les corrections mais au bout d'un certain temps de pra-

tique, on pourra cumuler les corrections, ce qui abrégera le travail.

Cette méthode de correction présente un caractère nettement systématique et rationnel. Ces qualités vous apparaîtront particulièrement en examinant la fig. 9 qui présente une comparaison entre une correction réalisée systématiquement par cette méthode et une correction réalisée par un examen visuel et appréciation empirique. Il s'agit d'un exemple pratique de correction par examen visuel pour lequel nous avons eu la curiosité d'analyser et de situer chaque étape.

La façon de procéder que je vous ai exposée est à l'heure actuelle la méthode la plus précise et la plus pratique de contretypage. Elle exige, pour la réalisation des diagrammes de prédétermination de la formule, un travail préliminaire encore assez important malgré sa simplification. Ce travail pourrait pourtant être épargné à l'utilisateur, si les fabricants de colorants ou de pigments exécutaient eux-mêmes ce travail et présentaient à leur clientèle des séries trichromes et octochromes de colorants accompagnées des diagrammes et réseaux correspondant. Ces fabricants de pigments et de colorants sont encore actuellement assez réfractaires à l'adoption de telles méthodes de travail, mais je puis leur prédire avec certitude que de bon gré ou non ils seront obligés finalement de se soumettre à des conditions de travail et de vente plus rationnelles.

Il me reste encore un mot à vous dire sur les possibilités de développement futur de la méthode que je vous ai exposée. Quels que soient les avantages qu'elle présente, elle reste soumise à une série d'opérations: analyses de l'échantillon et des différents essais pour la correction, calculs qui découlent de l'analyse, élaboration d'un diagramme de situation, toutes opérations qui demandent du temps et qui relèvent du travail d'un laboratoire. Nous nous sommes demandés s'il n'était pas possible de supprimer ces pertes de temps et de réaliser un appareil donnant directement la possibilité, même à l'atelier, d'interpréter la situation relative des couleurs et le sens de la correction. Nous avons pu constater que le problème pouvait trouver une solution et nous mettons actuellement au point dans nos laboratoires un appareil qui donnera directement et visuellement, sur un tube cathodique de grande dimension, la figuration de la fig. 7, c'est-à-dire la situation relative de l'essai par rapport à l'échantillon-type, le cercle de 1 ou plusieurs unités N.B.S., la direction de la droite d'espèce, la direction de la droite de pureté et la valeur de l'intensité, donc tous les éléments nécessaires pour interpréter la correction. Et cela, par simple présentation de l'essai sur l'appareil, sans analyse, sans calculs et sans diagrammes. Le même appareil serait susceptible de situer directement l'échantillon-type dans les réseaux pour la prédétermination de la formule. Cet appareil sera selon toute probabilité visible à l'Exposition de Bruxelles, cette année, au Palais de la Chimie.

J'espère, Mesdames, Mesdemoiselles et Messieurs, avoir réussi à attirer votre attention sur les possibilités d'application de la Colorimétrie dans le domaine du contretypage et je vous exprime mes remerciements pour votre aimable attention.

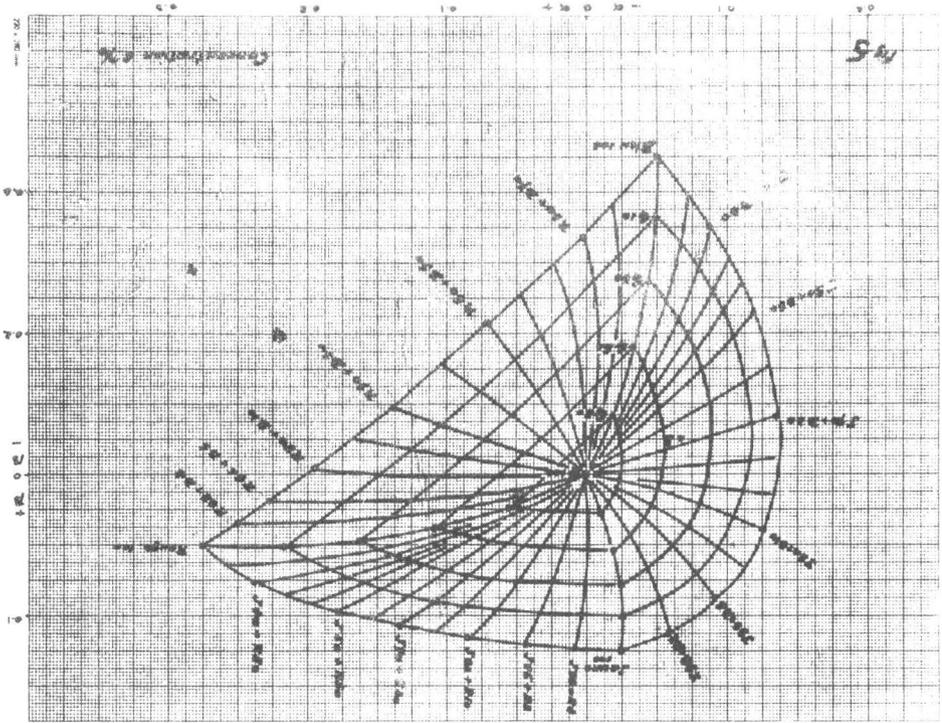
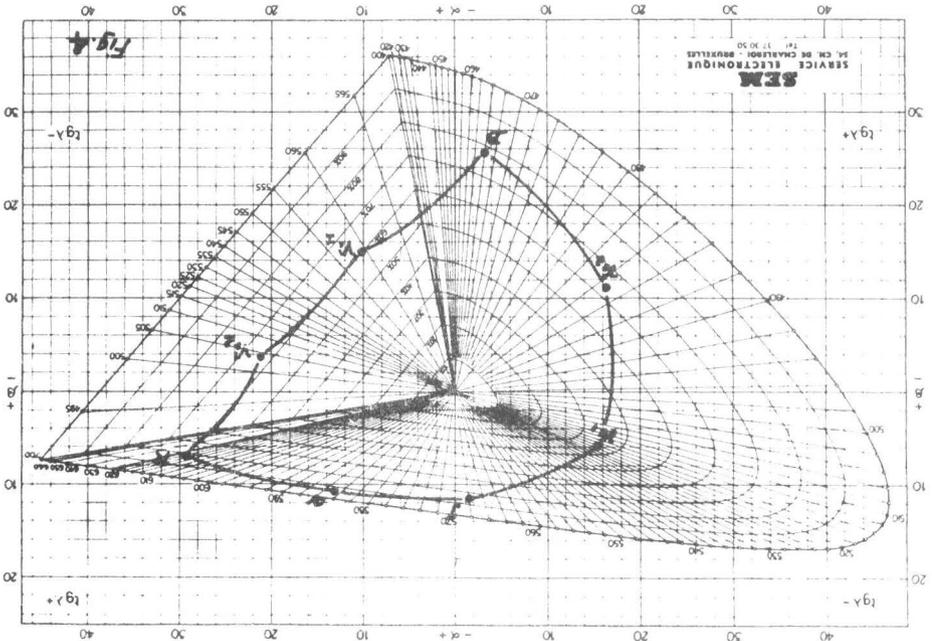


Fig. 4. CHAMP DES MELANGES DE 8 COLORANTS.



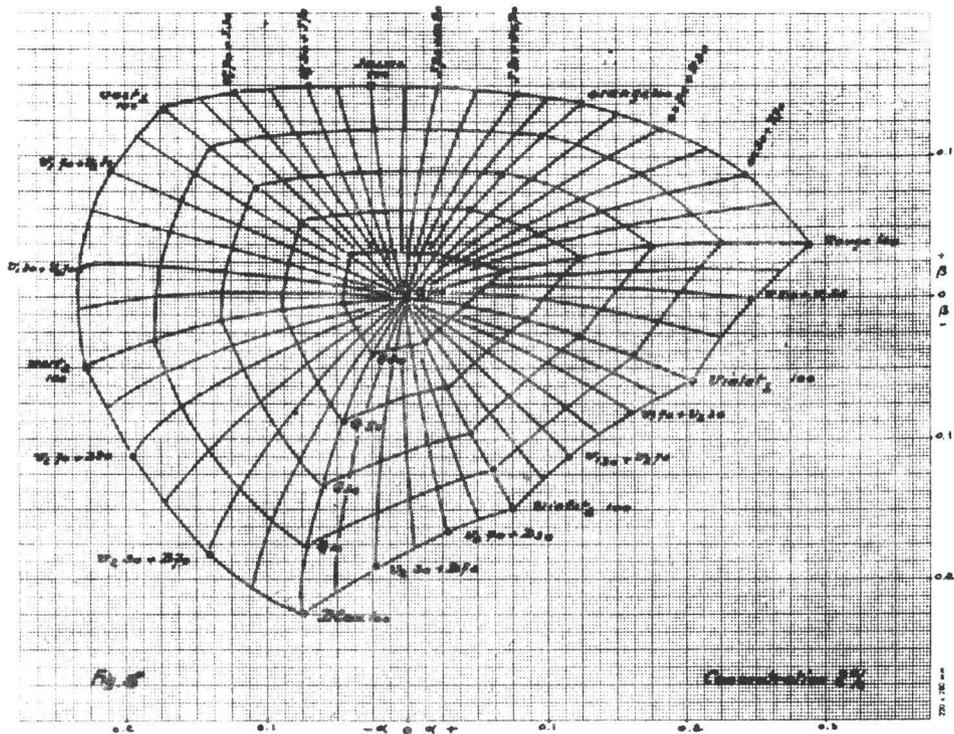


FIG. 6 RESEAU POUR 8 COLORANTS - OCTOCHROMIE

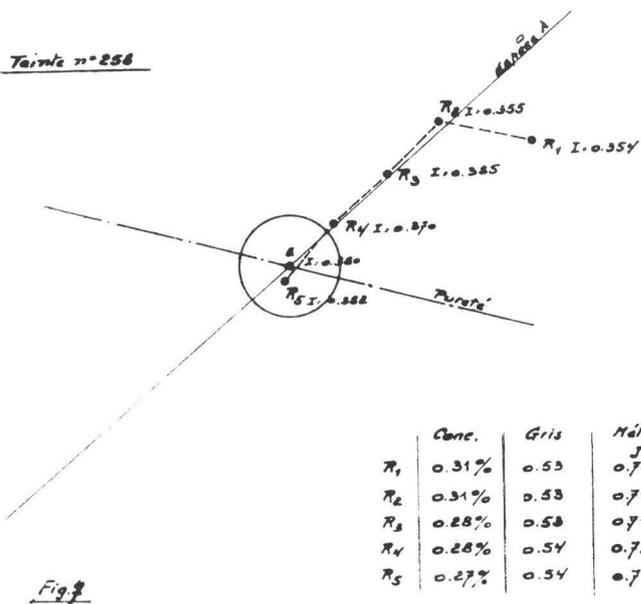


FIG. 7 DIAGRAMME DES CORRECTIONS DU CONTRETYPE

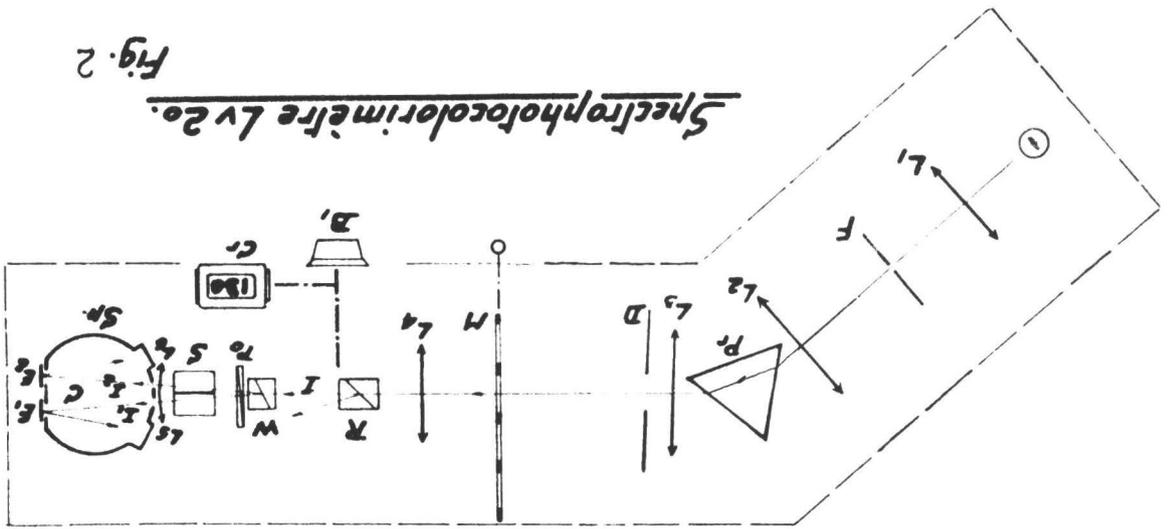
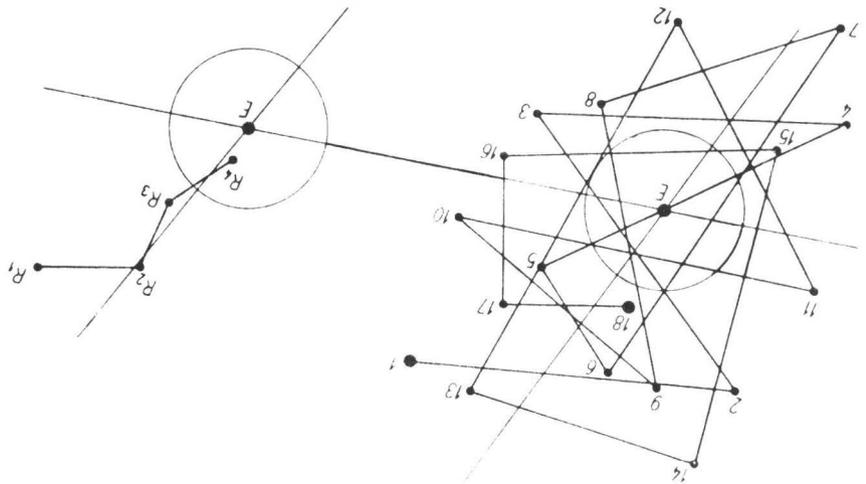


Fig. 2

Spectrohéliomètre Lv 20.

Fig. 9. COMPARISON D'UNE CORRECTION SYSTEMATIQUE ET D'UNE CORRECTION EMPIRIQUE.



LE MÉTAMÉRISME ET SON INFLUENCE SUR LE CONTRÔLE DES COULEURS

par Mme JONGKHEERE

*Ingénieur au Laboratoire de Colorimétrie
de la Société DUCO.*

Le sujet que je me propose de traiter ce jour n'est certes pas nouveau, mais devant le développement que prend la colorimétrie sur le plan pratique, il semble nécessaire de repréciser l'importance de ce phénomène et en particulier son caractère de quasi-universalité.

Sans nous étendre longuement sur le principe du métamérisme, rappelons le processus de perception de deux couleurs métamères.

Deux teintes sont dites métamères ou métamériques quand, possédant des courbes spectrales différentes, elles sont équilibrées pour un éclairage donné et un œil donné.

Soit deux de ces teintes dont les courbes spectrophotométriques figurent au cliché I. Ces teintes ont mêmes coordonnées trichromatiques sous l'illuminant C. L'œil normal perçoit donc un seul et même violet. Le cliché II donne ces teintes sous C.

Que deviennent ces teintes sous l'illuminant A? Le cliché III, nous donne la déformation subie par ce changement d'éclairage, c'est-à-dire un virage du violet au pourpre, et l'éclatement de l'écart des deux courbes dans les grandes longueurs d'onde; ce dernier provoque le déséquilibre qu'enregistre l'œil. Sous l'illuminant A, C₁ est naturellement perçu plus rouge que C₂ pour l'œil normal. Mais l'on peut trouver un sujet dont la perception colorée se traduira par un équilibre sous ce même illuminant, cela pourra être le cas d'un protanomal.

Sans même entrer dans le domaine des anomalies reconnues de la vision colorée, nous savons que lors de l'établissement de la courbe de visibilité relative de l'œil, bien des discordances ont été relevées suivant les expérimentateurs et les méthodes utilisées. C'est dire que deux couleurs métamères préparées sous un illuminant donné seront rarement perçues absolument identiques par l'ensemble des sujets admis dans la classe des « yeux normaux ». En effet, sur 10 sujets reconnus bons, et étant de plus exercés à l'appréciation des couleurs, moins de 5 sont d'accord en présence de métamérisme. Cela me semble-t-il donne une importance non négligeable à ce phénomène considéré trop souvent comme accessoire. Car, que va-t-il se passer dans la pratique à l'examen d'un contretypage présentant du métamérisme.

Admettons qu'au moment de sa réalisation toutes les précautions aient été prises: emploi d'un coloriste à bonne vision colorée et d'une source d'éclairage correcte. En premier lieu, à l'heure actuelle, chez le client recevant le contretypage, il y a fort peu de chance pour que la source d'éclairage soit rigoureusement la même, et voilà déjà une occasion de rejet. En second lieu, il y a encore moins de chance pour que l'examineur ait un œil C.I.E., ou du moins suffisamment C.I.E. pour qu'il ne perçoive aucun écart.

En effet, comme je le disais précédemment, il est très difficile d'établir des groupes importants de sujets réagissant de la même façon devant des couleurs métamériques.

Toutefois, deux classes se manifestent assez distinctement en fonction, en général, de l'âge de l'examineur. Jusqu'à trente ou trente cinq ans d'une part, et au-delà de cinquante d'autre part. Cette classification, on peut le constater, n'est pas sans liaison apparence avec la presbytie.

Le jaunissement du cristallin entraîne une déformation notable de la courbe de visibilité. Je bénéficie à ce sujet de l'expérience très récente d'une personne de cinquante ans qui vient d'être opérée de la cataracte sur un œil, et qui décrit alternativement sa vision colorée par son œil opéré et par celui qui ne l'est pas. Avec ce dernier, ses perceptions sont fortement altérées par rapport à l'autre.

Cette déformation de la vision des couleurs avec l'âge a des conséquences importantes sur le plan psychologique. Car, en tout jugement l'expérience étant en principe une assurance de compétence, le coloriste de plus de cinquante ans allie donc à un très grand entraînement, un défaut non négligeable dont il conviendra difficilement.

Je dirai aussi quelques mots de l'influence des verres teintés dont l'usage s'intensifie journellement. Ces verres ont été étudiés à l'origine pour corriger la partie ultra-violette du spectre, considérée comme nocive. La courbe spectrale se trouve obligatoirement déformée dans le visible, d'où nécessité d'une teinte plus ou moins accusée.

Le cliché IV représente quelques exemples de verres classiques. Comme on peut le constater, il ne s'agit là que des verres très clairs (teinte A). Les dominantes s'accusent avec l'épaisseur. Le passage de la teinte A à la teinte AB augmenterait sensiblement la coloration. Le port de ces types de verres étant assez généralisé, il peut être encore une source de désaccord dans l'examen de couleurs métamériques.

Ainsi donc les causes sont multiples de discordance dans le contrôle visuel de teintes métamériques.

Mais, me direz-vous, les cas de métamérisme sont-ils si fréquents? Ils sont, et je reviens là sur une idée déjà émise, beaucoup plus fréquents que l'on ne serait porté à le croire, et pour vous en convaincre, il n'est que de faire le tour des différentes reproductions que les industries de la couleur sont appelées à exécuter. Les quelques exemples que je vais vous présenter sont plus spécialement tirés des problèmes propres à l'industrie de la peinture, mais seraient étendus aisément dans bien des cas aux autres industries.

Voyons en premier lieu la reproduction d'une teinte d'après un échantillon dont on ignore la formulation pigmentaire. Cette teinte a été réalisée par un confrère ou préparée par le client lui-même. Dans un cas comme dans l'autre, il faudra rechercher la formule pigmentaire. Si aucune règle n'a présidé au mélange, ce qui arrive souvent, en particulier dans le second cas, l'usage d'une règle sérieuse ne conduira pas à la même formule, donc obligatoirement à une courbe spectrale différente. Il peut arriver que certaines propriétés particulières en liaison avec

l'usage que l'on veut faire de la peinture (résistance à la chaleur, à la lumière ou à un agent chimique particulier) proscrivent l'emploi de certains pigments courants qui constituaient eux la teinte demandée. L'usage d'autres pigments entraînera de nouveau une courbe spectrale différente.

La méconnaissance de ces problèmes est telle qu'il nous est fourni, pour en faire la reproduction, des teintes dites standard qui sont déjà une reproduction de la teinte de chaîne, dans une autre formulation pigmentaire. Ce premier contretypage est souvent fait, de plus, sous un éclairage mal défini et par un œil mal connu. A partir de telles données, comment éviter le métamérisme?

Examinons maintenant une autre série de cas qui conduisent presque inmanquablement au même phénomène. C'est le problème général du contretypage de teinte d'un matériau donné dans un autre.

S'agit-il de passer de la teinte d'un tissu à celle d'une peinture, d'une peinture à celle d'une encre, d'une encre à celle d'un plastique. S'agit-il de reproduire sur un journal une photo en couleur. Dans ces différents cas, la reproduction fera appel, la plupart des fois, à des colorants ou des pigments sans correspondance possible dans les différents matériaux. Il n'y aura donc aucune possibilité d'identifier les courbes spectrales du tissu avec la peinture ou de l'encre avec le plastique.

Enfin, hors de ces exemples classiques qui tous font apparaître une différenciation des courbes spectrales par changement de composition pigmentaire, il subsiste encore un phénomène très net de métamérisme par simple passage d'un liant à un autre. Cette fois, c'est la coloration du liant qui provoque le déséquilibre. Le phénomène est en général plus accusé dans les nuances bleutées et violacées, comme le montre le cliché V.

Je pense que ce dernier cas s'apparente à celui de

la reproduction d'une impression sur des fonds de coloration différente. Il n'y a là aucune possibilité d'éviter le métamérisme, et c'est tout le problème des raccords qui est ainsi posé. Quelque soit les précautions prises, il y a *impossibilité* d'exécuter un raccord cellulósique sur une peinture glyptal cuite au four sans entâcher ce dernier de métamérisme.

Il n'est pas nécessaire, semble-t-il, de nous étendre davantage pour démontrer la généralité de ce phénomène et son importance dans le contrôle des couleurs.

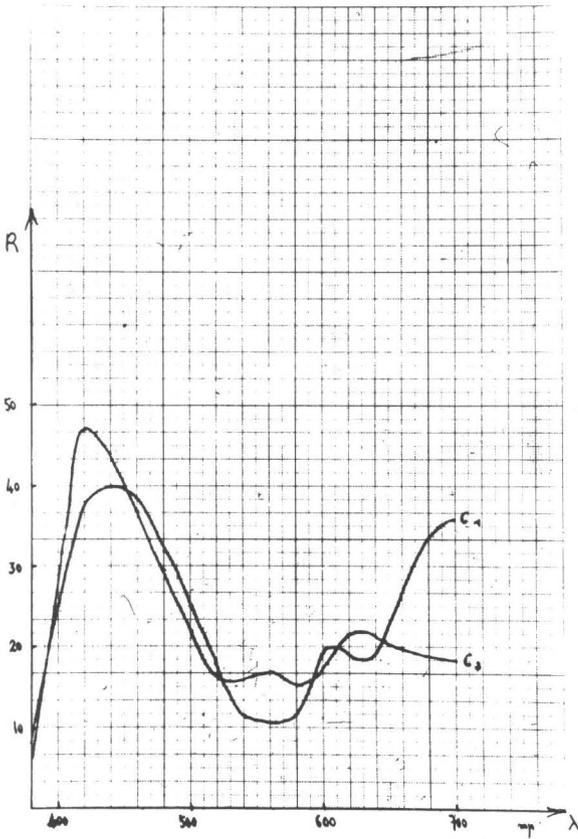
Aussi, pensons qu'il est absolument indispensable que la mesure industrielle des couleurs puisse refléter ce phénomène. Car, quelque soit le développement de la colorimétrie dans nos industries, nous ne pourrions empêcher l'œil de porter un jugement et la pratique de cette science serait rejetée si elle ne pouvait mettre en évidence ce que l'œil voit.

Or, loin de mettre en évidence le métamérisme, la colorimétrie trichromatique, limitée à un seul illuminant, le camoufle.

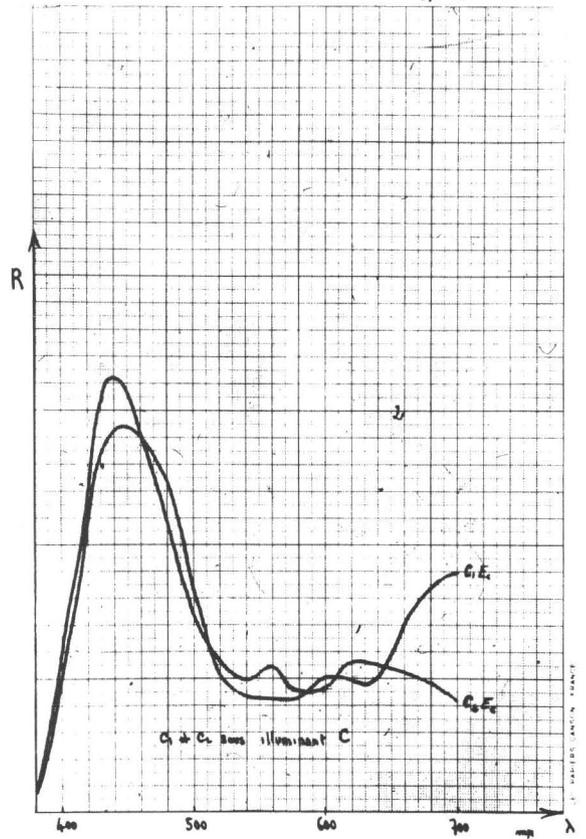
Les spectrophotomètres simplifiés que sont les colorimètres à filtres multiples, ont l'avantage jusqu'à ce jour de permettre de dépister ce phénomène et c'est l'usage de tels appareils qui ont permis à certaines industries de pratiquer depuis 20 ans le contrôle de leurs fabrications et d'éviter, autant que faire se peut, le métamérisme.

Mais de tels appareils ont entre autres la faiblesse de ne pouvoir traduire facilement des limites de tolérance; ils seront abandonnés dans le cas d'une normalisation et de l'établissement de tolérances. Il faut donc que la colorimétrie trichromatique comble sa lacune par l'usage d'une définition sous deux illuminants, A et C par exemple. Et nous sommes heureux de saluer la venue d'appareil tel que le spectrophotomètre LV. 20 qui permettra sans doute une telle exploitation.

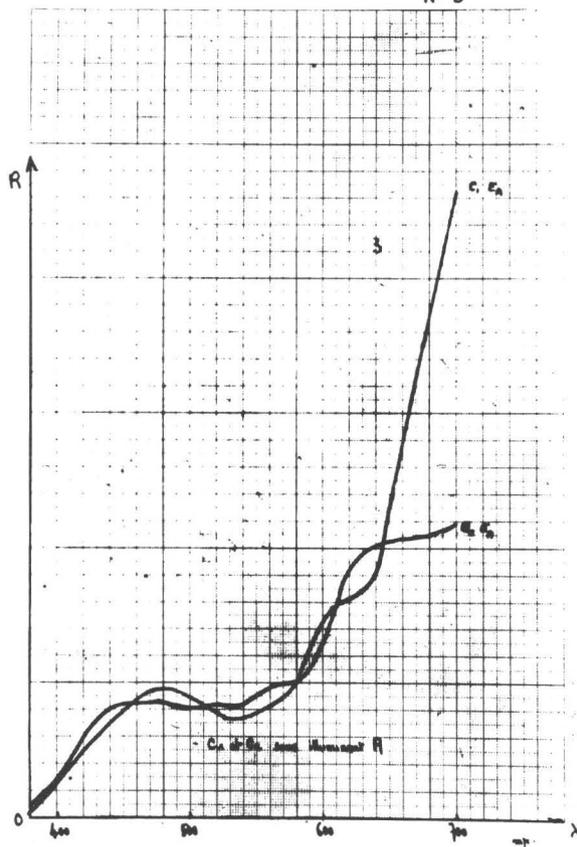
N: 1

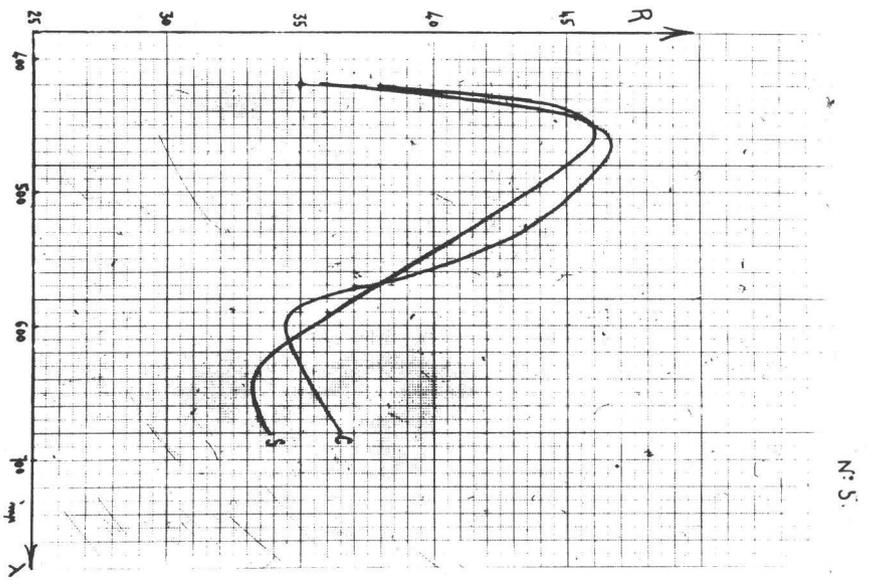
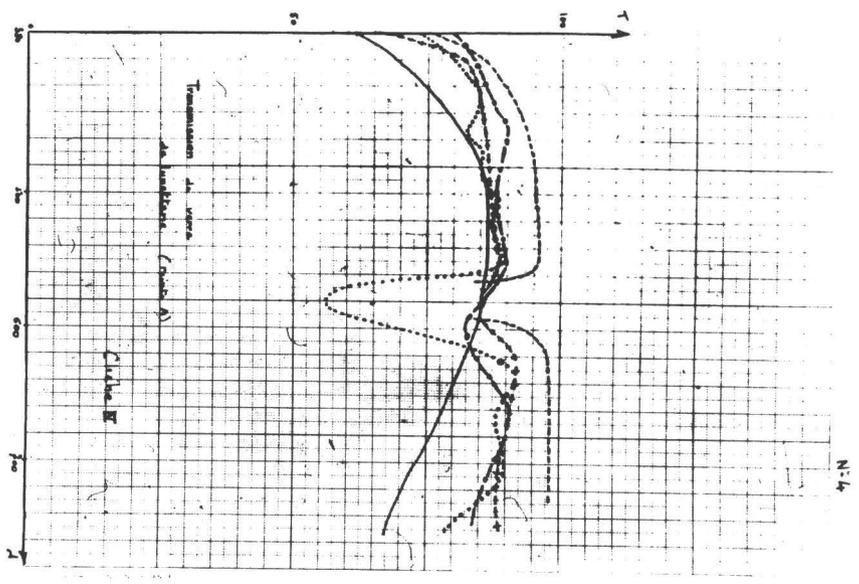


N: 2



N: 3





APPLICATION DES MESURES COLORIMÉTRIQUES A L'ESSAI DES ENCRÉS D'IMPRIMERIE

par M. ADAMS

P.A.T.R.A.

INTRODUCTION

L'essai des encres d'imprimerie semble constituer une application évidente de la colorimétrie. Il est souvent nécessaire de contretyper une couleur donnée avec une encre, et il est ensuite indispensable que la couleur de l'encre réalisée selon cette spécification reste constante dans les fabrications successives.

A la P.A.T.R.A. nous nous trouvons souvent devant le problème de la comparaison de deux encres, ou de la comparaison d'une encre avec une couleur donnée. Une réponse objective est naturellement préférée à une opinion subjective et nous exprimons normalement nos résultats sous forme de mesures colorimétriques.

Cependant les difficultés rencontrées nous ont montré que ces mesures ne se réalisent pas simplement; le but de cette communication est de décrire quelques-uns de nos problèmes, et de montrer jusqu'à quel point nous les avons résolus.

LA COMPARAISON VISUELLE DES ENCRÉS

C'est normalement le travail du fabricant de comparer les encres, et il sera instructif de considérer ses méthodes avant de discuter nos tentatives d'application de la colorimétrie au problème.

La majorité des fabricants d'encre n'emploient pas d'instruments de mesure de la couleur et s'en rapportent à l'expérience et à l'habileté d'un coloriste quand il s'agit de formuler des encres.

S'il s'agit de mettre en route une nouvelle fabrication d'encre d'un type déjà réalisé, une mise à la teinte, approximative est obtenue par mélange des proportions de pigments utilisés dans la fabrication précédente; le coloriste procède alors à des additions de pigments ou de « toners » au nouveau mélange jusqu'à ce qu'il considère celui-ci comme un contretypage exact du précédent. Cet ajustement final est nécessaire pour compenser les variations entre les différentes fabrications de pigment, ainsi que les imprécisions de la formulation.

Si l'encre doit être le contretypage d'une couleur plutôt que d'une autre encre, le coloriste mélangera les pigments qu'il pense devoir donner la couleur recherchée, et, comme précédemment, procédera visuellement aux retouches de ton finales.

La couleur d'une encre fraîche ne donne qu'une indication approximative de celle qu'elle donnera après impression, le coloriste juge-t-il son ton d'après un dégradé. Il pose aussi une petite quantité d'encre sur une feuille de papier et l'étale à la spatule.

Ceci donne une bande de couleur ayant des densités échelonnées correspondant au changement d'épaisseur du film d'encre sur la bande. Un coloriste entraîné peut réussir par cette méthode des mises au ton étonnamment précises, et ceci est plus rapide et plus facile pour un praticien que d'utiliser des méthodes comprenant des mesures et des calculs.

CONFECTION D'IMPRESSIONS POUR LES MESURES DE COULEURS

Un jugement visuel basé sur un dégradé est difficilement utilisable dans un organisme de recherches, en particulier parce que nos tests doivent donner satisfaction aux imprimeurs, qui jugent la couleur d'une encre par l'impression qu'elle donne.

Une des premières décisions que nous ayons prises a été que nos tests seraient effectués sur des épreuves sortant de presses d'impression selon le procédé courant, plutôt que sur des dégradés. Une des raisons en était le besoin d'avoir des plages colorées uniformes de dimensions suffisamment grandes pour les mesures.

C'est une opération facile que de faire une impression, et aussi de mesurer sa couleur. Par contre, il est plus difficile d'être sûr que la couleur de l'impression est caractéristique de celle de l'encre essayée, et que des différences constatées tiennent bien aux encres, et non pas à des différences introduites par des variations dans le papier ou les conditions d'impression.

Un grand nombre d'expériences ont été faites pour étudier les facteurs influençant la couleur de l'impression, et les résultats ont indiqué certaines précautions nécessaires dans ce travail.

EPAISSEUR DU FILM D'ENCRE

Le facteur le plus important à contrôler lors de la confection d'impressions pour la mesure des couleurs est l'épaisseur du film d'encre.

Les valeurs moyennes de cette épaisseur varient de 1 à 5 microns, et le changement de teinte résultant d'une variation d'épaisseur de quelques microns est considérable. Le tableau I montre les variations de couleur de deux encres magenta et cyan imprimées avec des épaisseurs d'encre entre 1,5 et 3,5 microns. Comme prévu, l'encre cyan devient plus sombre et moins saturée quand l'épaisseur du film augmente, mais il y a aussi un changement de teinte de l'encre magenta, qui devient moins bleue quand l'épaisseur du film augmente.

Quand nous comparons des encres à la P.A.T.R.A., nous tenons compte de ces variations en tirant des épreuves à diverses épaisseurs d'encre, et en reportant la courbe de variation de la couleur en fonction de l'épaisseur du film sur un diagramme de chromaticité.

Si les courbes de deux encres coïncident, nous concluons que les encres sont semblables pour toutes les épaisseurs du film — si elles se croisent, que les encres ne sont semblables que pour une épaisseur seulement.

INFLUENCE DU PAPIER

Le papier utilisé affecte la couleur des épreuves. La réflectance d'un papier « blanc » peut varier de 70 à 80 % mais, des expériences menées à la P.A.T.R.A. il ressort que des différences assez marquées dans la

couleur du papier ne semblent pas avoir un effet appréciable sur la chromaticité des impressions.

Cependant, l'absorption de l'huile par le papier affecte la luminance de l'impression; un papier plus absorbant donne une impression moins brillante. Or l'apparence d'une impression dépend de sa luminance aussi bien que de sa couleur, et des mesures colorimétriques d'une impression brillante la feront apparaître comme plus sombre et plus saturée qu'une impression mate de la même couleur.

Il en ressort que des comparaisons d'encre doivent toujours être faites sur le même papier, ou tout au moins sur des papiers de même porosité et de même satinage.

Il en ressort aussi que, lorsqu'il s'agit de décider si une encre est ou non identique à une certaine couleur, les essais doivent être faits sur plusieurs papiers: il est en effet toujours possible que l'encre puisse correspondre à la couleur en question quand elle est imprimée sur un certain papier, même si elle n'y correspond pas sur d'autres.

Le papier est un matériau variable. Il présente des variations d'une fabrication à l'autre, et est ainsi aisément sali; de plus, une même fabrication peut varier dans le temps. Il est donc difficile d'obtenir un papier standard pour l'impression...

On a suggéré que les impressions destinées à ce travail soient faites sur des surfaces plus reproductibles, comme du fer-blanc émaillé ou du plastique; on objectera à cette solution que l'apparence de l'impression sur un tel support est très différente de son apparence sur papier, et qu'une méthode utilisant une telle impression ne serait pas un test loyal de l'encre.

INFLUENCE DE LA PRESSE

On a aussi trouvé que l'apparence, d'une impression dépend de la machine sur laquelle elle a été tirée; une presse à main donnera des impressions plus brillantes qu'une presse de production, même si l'encre, le papier et l'épaisseur du film d'encre sont les mêmes.

Dans une expérience récente (réf. 1) des impressions ont été faites avec différentes encres et papiers sur 5 machines, dont 2 étaient des machines d'essai à main, et les autres des presses standard de production. Les différences de brillant trouvées sont petites, mais se rencontrent avec tous les types d'encres et de papiers utilisés.

Un papier imprimé avec une encre typique et une épaisseur de film de 2 microns sur les presses d'essai donnera des impressions de réflectances 20 et 21 % — alors que, dans les mêmes conditions, on obtiendra sur les presses de production des réflectances de 14 à 17 % (les expériences ont été faites sur un réflectomètre où l'épreuve était éclairée par un faisceau de lumière blanche à 45 degrés, et les mesures faites sur la lumière réfléchie spéculairement. Le standard de brillant utilisé était un carreau de verre noir, dont le brillant était admis de 100 %).

ERREURS DANS LES MESURES DE COULEUR

La discussion de ces 3 facteurs; épaisseur du film d'encre, influence du papier et de la presse, donne une idée des précautions à prendre dans le tirage des épreuves pour les déterminations de couleurs. Il n'est pas difficile de contrôler l'épaisseur du film d'encre sur une épreuve, et nous pouvons déterminer les qualités requises pour le papier. Les facteurs tenant à la presse sont moins bien élucidés, et, pour le moment, nous pouvons seulement conjecturer l'importance relative des variations dans la vitesse

d'impression, la pression, le système de distribution d'encre, et les autres caractéristiques d'une presse d'impression.

Quand nous comparons deux encres à la P.A.T.R.A. nous les imprimons toutes deux sur le même papier, avec la même machine; nous sommes ainsi à peu près certains que les différences trouvées tiennent uniquement aux encres.

Mais le problème de décider si une encre répond exactement à une spécification de couleur est beaucoup plus difficile, particulièrement si la spécification est exprimée sous forme de mesures dans le système C.I.E. Indépendamment de la difficulté de spécifier les conditions d'impression, il y a en effet des différences possibles dans les résultats donnés par deux instruments de mesure des couleurs. Dans la comparaison directe de deux encres, le même colorimètre est utilisé pour toutes les mesures, mais, si les standards doivent être exprimés numériquement, il doit être possible à l'imprimeur ou au fabricant d'encres, de contrôler les couleurs dans ses ateliers et sur ses propres appareils de mesure. W. D. Wright a déjà attiré l'attention sur les différences considérables qui peuvent apparaître entre les indications de différents spectrophotomètres (Réf. 2). Des différences importantes peuvent aussi apparaître entre les coordonnées C.I.E. calculées à partir de courbes spectrophotométriques et celles obtenues sur des colorimètres tristimulus, particulièrement si l'on compare des instruments qui n'ont pas exactement les mêmes conditions d'éclairage et d'observation.

Le tableau II montre les coordonnées C.I.E. obtenues à partir de 3 instruments pour 4 impressions magenta faites avec la même encre à 4 épaisseurs différentes du film. Un des instruments était un spectrophotomètre à prisme, et les coordonnées C.I.E. ont été calculées à partir des courbes spectrophotométriques par la méthode des 30 ordonnées sélectionnées (réf. 3). Les autres instruments étaient des colorimètres tristimulus, du modèle couramment employé dans les industries de l'impression. Si l'on tient compte de la forte saturation de l'encre magenta, les différences entre les résultats donnés par ces instruments sont petites, mais elles représentent des différences visuelles considérables. Chacun des instruments est suffisamment précis pour notre travail, et donnera des indications cohérentes — mais les différences entre eux rendent impossible la comparaison des mesures d'un appareil à l'autre.

Ceci signifie que, si un standard est exprimé sous forme de mesures dans le système C.I.E., un imprimeur ne peut être sûr de reproduire la couleur standard quand son instrument indique les mesures standard.

Le seul moyen d'éviter ceci est de standardiser dans l'industrie un instrument de mesure particulier — ce qui est impraticable — ou, pour le possesseur de chaque colorimètre, de déterminer le facteur de correction nécessaire pour convertir ses lectures en celles de l'instrument standard du laboratoire. Ceci doit être fait pour chaque couleur standard et implique la circulation des échantillons. En fait, ceci revient à remplacer les chiffres de la spécification par des échantillons de couleur standard — ce que la colorimétrie était supposée éviter.

CONCLUSION

La conclusion de ces difficultés est que, même si une firme particulière est capable d'établir ses propres standards basés sur les lectures d'instruments, cela ne signifie pas une possibilité immédiate de se servir des spécifications colorimétriques dans des

normes générales utilisables dans l'industrie. Nos normes nationales pour les encres d'impression définissent des encres fraîches, ce qui est une forme mal commode. Bien que, en pratique, nous utilisions à la P.A.T.R.A. un colorimètre pour faciliter nos essais, une norme réaliste devrait établir que, pour être conforme au standard, la couleur d'une encre « doit être déterminée par comparaison visuelle d'une impression sèche avec une impression sèche de l'encre standard, faites sur le même papier, en même temps, et dans des conditions semblables. Les teintes, examinées par un observateur entraîné, doivent être

assez proches pour donner une bonne identité commerciale sous l'illuminant C de la C.I.E. » (réf. 4).

REFERENCES

- (1) An Experimental Study of Variations in the Appearance of Solid Prints. By J.M. Adams. Patra Printing Laboratory Report in the course of publication.
- (2) A Challenge to Colorimetry. By W.D. Wright. Nature, Vol. 179, 26th January 1957, pp. 179-180.
- (3) Handbook of Colorimetry. A.C. Hardy, Massachusetts Institute of Technology Press, 1936.
- (4) British standard 2650 : 1955 Fom-colour Offort Lithographic Inks. British standards institution, 1955.

TABLEAU I

Variation de la couleur en fonction de l'épaisseur du film d'encre pour des impressions magenta et cyan

MAGENTA INK Encre magenta				CYAN INK Encre cyan			
FILM THICKNESS Epaisseur du film Microns Microns	COORDONNES C.I.E.			FILM THICKNESS Microns	C.I.E. CO-ORDINATES		
	x	y	Y		x	y	Y
1.5	0.479	0.257	16.6%	1.4	0.183	0.231	21.9%
2.2	0.516	0.275	14.3%	2.1	0.170	0.214	17.0%
2.9	0.537	0.291	13.0%	2.8	0.165	0.207	13.7%
3.7	0.556	0.300	12.3%	3.4	0.161	0.200	11.8%

TABLEAU II

Coordonnées C.I.E. d'impressions magenta mesurées sur un spectrophomètre à prisme et sur 2 colorimètres

PRINT Impression	SPECTROPHOTOMETER Spectrophomètre			COLORIMETER « A » Colorimètre « A »			COLORIMETER « B » Colorimètre « B »		
	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y
1	0.462	0.241	15.1%	0.473	0.249	16.8%	0.483	0.253	16.9%
2	0.481	0.253	14.4%	0.489	0.261	15.9%	0.500	0.263	15.9%
3	0.501	0.263	13.2%	0.507	0.272	15.2%	0.520	0.279	15.2%
4	0.518	0.281	12.7%	0.523	0.289	14.6%	0.539	0.294	14.5%

SUR QUELQUES ASPECTS DU PROBLÈME DE L'ÉVALUATION DE LA SOLIDITÉ A LA LUMIÈRE DES TEINTURES

par M. Paul ROCHAS

Ingénieur-Docteur E.S.C.I.L.
Directeur du C.R.S.I.T.

et

Mme S. PIERRET

Ingénieur-Chimiste E.S.C.I.L.
Chef de Laboratoire au C.R.S.I.T.

CENTRE DE RECHERCHES DE LA SOIERIE ET DES INDUSTRIES TEXTILES — LYON
AFFILIEE A L'INSTITUT TEXTILE DE FRANCE

Les techniciens Coloristes de l'Industrie Textile sont préoccupés par deux problèmes qu'il leur importe quotidiennement de résoudre, au mieux: Le premier problème est celui de l'échantillonnage, c'est-à-dire celui d'une reproduction aussi fidèle que possible du coloris qui leur est soumis. Ce problème se ramène à celui des tolérances, problème de base qu'a traité tout à l'heure, notre collègue Monsieur Mougeot, avec toute l'autorité que lui donne son expérience et ses connaissances scientifiques. Le deuxième problème qui se présente au technicien coloriste, et qui est, d'ailleurs, lié au précédent est d'assurer cette reproduction colorée grâce à un choix judicieux de colorants et de procédés d'application, assurant à la teinture et à l'impression une résistance suffisante pour l'usage auquel on les destine: voici posé le problème de l'évaluation de la solidité des Teintures Textiles aux agents agressifs qu'elles rencontrent au cours de leur usage.

Vous avez présent à l'esprit, Messieurs, le brillant exposé que vous a présenté l'an dernier, M. Zuber, sur ce sujet général des solidités des Teintures: joignant la clarté de vue à l'élégance de l'expression, M. Zuber a dressé, devant vous, un état actuel de cette question qu'il connaît fort bien, puisque son collaborateur, M. J.-P. Niederhauser et lui-même comptent parmi les animateurs les plus actifs de la Commission des Solidités des Teintures de l'Institut Textile de France, et sont des représentants écoutés de cette Commission Française dans les réunions Internationales, soit à l'échelon Européen de l'E.C.E., soit à l'échelon mondial de l'I.S.O.

Nous devons nous excuser auprès de MM. Zuber et J.-P. Niederhauser, et auprès de vous Messieurs, de nous trouver contraint, car nous ne saurions faire mieux, d'emprunter à ces auteurs quelques idées et quelques développements de leur pensée qu'ils ont excellemment exprimé, par ailleurs, dans plusieurs communications ou articles publiés dans la littérature scientifique. (cf. notamment (1) (2) (3).)

Il nous apparaît, en effet, utile avant de concentrer notre attention sur le problème particulier de la solidité à la lumière des Teintures, d'examiner, très succinctement, sous son aspect le plus général, le principe même des essais divers, auxquels on doit soumettre une teinture textile lorsqu'il s'agit d'apprécier ses solidités.

DES METHODES GENERALES D'ESSAIS DES SOLIDITES DES TEINTURES

Théoriquement le choix est libre entre deux principes, nous dirions presque deux philosophies des méthodes d'essais:

a) On peut choisir, comme l'on fait dans plusieurs cas les Américains, le principe des « Pass-Tests », c'est-à-dire, le principe d'une succession d'épreuves de sévérité croissante à laquelle se trouve soumis l'échantillon essayé. On examine, après chaque épreuve, l'échantillon et l'observateur se borne à préciser si la teinture a, ou n'a pas viré. Il n'a pas à s'embarasser de précisions toujours difficiles à fournir sur l'importance de l'altération de la teinture: c'est là, d'ailleurs, l'argument essentiel que les défenseurs de cette cause ne manquent pas d'invoquer lorsqu'ils ont à la plaider. Afin d'illustrer ce que nous venons de dire, nous pouvons prendre l'exemple de la détermination de la solidité au lavage d'une teinture sur coton. La méthode d'essai de l'American Association of Textile Chemists and Colourists (A.A.T.C.C.) prévoit 4 épreuves de plus en plus sévères, depuis le lavage doux jusqu'au lavage prolongé, à température élevée, en milieu alcalin. L'échantillon examiné, sera, par exemple, classé 3, s'il résiste bien à l'épreuve 3, mais accuse une nette altération lors de l'épreuve 4.

b) Le principe des épreuves de solidité, communément adopté dans nos pays d'Europe, est bien différent: Il se trouve fort bien défini dans le paragraphe « généralité » du code des solidités de l'E.C.E. « Les teintures sont soumises à une épreuve déterminée, puis l'effet qui en résulte est apprécié par attribution d'un indice de solidité. On se rend ainsi compte, si la teinture examinée résiste ou non à l'épreuve choisie. En outre, on a, aussi une indication sur l'ordre de grandeur de la modification intervenue ». Autrement dit, à la succession d'épreuve des « Pass-Tests » s'oppose l'épreuve déterminée. L'indice de solidité à l'épreuve considérée étant déterminé, sinon par la mesure, du moins par l'appréciation de l'étendue des dommages causés par l'essai. Cette appréciation de l'étendue des dommages est facilitée par l'emploi d'une échelle d'étalons de gris dégradés du gris foncé jusqu'au blanc. Elle se traduit pratiquement par un chiffre de 1 à 5, qui exprime l'importance de la dégradation de la teinture et, éventuellement, par d'autres chiffres, compris aussi entre 1 et

5, qui traduisent l'importance du dégorgeement de l'échantillon testé sur des tissus témoins qui l'ont accompagné pendant l'épreuve subie.

DE L'ÉVALUATION OBJECTIVE DE LA SOLIDITÉ À LA LUMIÈRE D'UNE TEINTURE PAR MESURES PHOTOMÉTRIQUES

Parmi toutes les solidités aux agents agressifs les plus divers que l'on peut exiger des Teintures Textiles, la solidité à la lumière vient, sans nul doute, en premier lieu. Le choix des méthodes d'essai de solidité à la lumière des Teintures préoccupe depuis de nombreuses années les milieux scientifiques de l'Industrie Textile, et ce sujet a suscité et provoque toujours de très nombreux travaux.

La plupart de ces travaux a pour objet de rendre la détermination de la solidité à la lumière d'une Teinture aussi objective que possible et de la faire résulter d'une mesure, ou d'une série de mesures, dont les résultats peuvent être interprétés par une formule mathématique.

Nous acceptons tous volontiers, que l'on associe à la notion de solidité à la lumière, l'idée de durée, tant il est vrai que le propre de l'action de la lumière est d'être longuement poursuivi et répété. Il vient à l'esprit de tous qu'une teinture doit être considérée comme d'autant plus solide à la lumière qu'elle résiste plus longuement à son action, ou qu'elle se trouve dégradée de façon moins importante par une exposition de durée donnée.

On conçoit donc, que de nombreuses tentatives aient été faites de rapporter de façon parfaitement objective, la solidité à la lumière d'une teinture :

- au nombre de lux-heures qu'elle supporte sans dommage,
- ou au nombre de lux-heures nécessaires pour produire une dégradation donnée.
- ou encore, à l'importance de la dégradation subie après un nombre de lux-heures donné.

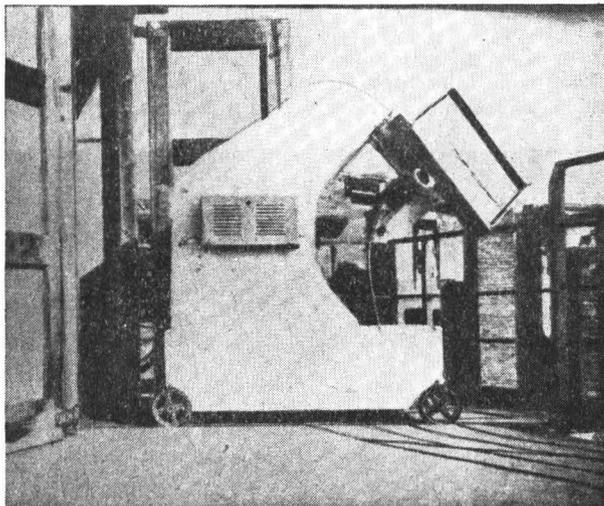
Les deux premières méthodes (solidité rapportée à un nombre de lux) seraient dans l'idée des « Pass-Tests. La troisième méthode envisagée (solidité rapportée à l'importance de la dégradation subie par l'échantillon exposé à un nombre de lux donné) s'inscrirait plutôt dans la ligne des méthodes admises par l'E.C.E.

Dans les 3 cas, il est de première nécessité de déterminer, aussi exactement que possible, le nombre de lux reçus par les échantillons. Comme, hélas, la lumière solaire ne parvient à la surface terrestre, que de façon irrégulière et inconstante, il est évident qu'un nombre d'heure d'insolation ne signifie rien. Il importe donc de disposer d'un lux-mètre enregistreur de sensibilité spectrale équilibrée. De plus, il y a lieu de placer ce lux-mètre enregistreur sur un héliostat de façon à disposer lux-mètre et échantillon en examen, quelle que soit l'heure de la journée et la saison, rigoureusement faces au soleil. Cette exigence n'est pas inspirée par le seul souci de profiter au maximum de la lumière solaire, mais encore, et surtout, par la nécessité d'avoir exactement le même éclairage sur la cellule du lux-mètre et sur les échantillons, ce qui ne se produirait pas, si échantillons et lux-mètre ne se trouvaient pas disposés sur un plan perpendiculaire au rayonnement solaire.

Un tel dispositif, dénommé « Insolamètre » a été réalisé dès 1932, par M. le Chanoine Pinte et M. Toussaint.

En s'inspirant des travaux qui avaient abouti à cette réalisation, et sous la direction de M. le Cha-

noine Pinte, nos collaborateurs, MM. Henno et Jouhet (*) ont récemment réalisé, dans nos Laboratoires, un nouvel appareil, Insolamètre-Héliostat, très précis, qui répond aux exigences suivantes (fig. 1).



- a) Rigoureuse perpendicularité du panneau d'exposition au rayonnement solaire par combinaison de deux mouvements: Un mouvement de réglage en azimut obtenu par rotation du panneau autour d'un axe vertical avec une vitesse angulaire constante égale, mais de signe contraire, à la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même. Un mouvement de réglage en déclinaison commandé par une came dont le profil a été établi à partir des données de l'Observatoire (***) sur les hauteurs apparentes du soleil pour le lieu d'implantation de l'Héliostat.
- b) Enregistrement du nombre de lux-heures reçus par les échantillons pendant les heures d'insolation franche, c'est-à-dire, au-delà de 20 000 lux-heures.
- c) Commande, en dessous de 20 000 lux-heures de la fermeture d'un rideau obscurcissant les échantillons, avec arrêt du compteur de lux.

Disposant d'un tel appareil d'exposition équipé d'un lux-mètre enregistreur, on peut considérer comme résolue, la première partie du problème, et on peut aborder la deuxième, c'est-à-dire l'évaluation de la dégradation d'une teinture après réception d'un nombre connu de lux.

Les difficultés ne manquent pas d'apparaître dès l'abord: En effet, l'évaluation de la mesure dans laquelle deux impressions colorées diffèrent entre elles, est extrêmement complexe.

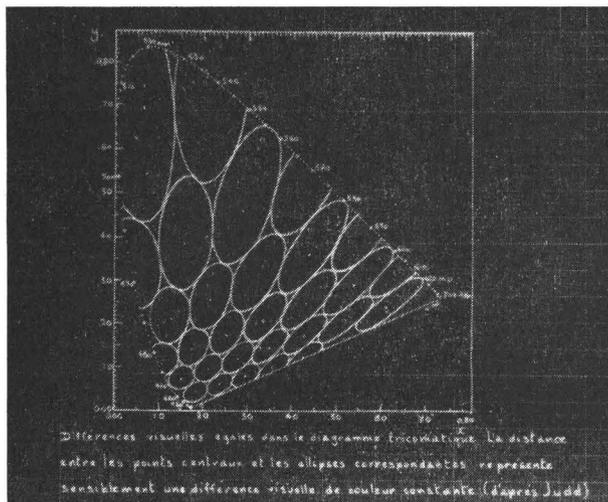
Si l'on s'en tient aux seules données spectrophotométriques, et si l'on cherche à évaluer la dégradation de la Teinture par l'aire comprise entre la courbe de couleur de l'échantillon-témoin non exposé et celle de l'échantillon exposé, on doit avoir recours, comme l'ont proposé MM. le Chanoine Pinte et Toussaint, à des coefficients correctifs, tenant compte de la clarté et de la pureté des nuances des teintures avant et après exposition.

NOTE. — (*) M. Henno, chef du Laboratoire de Physique du C.R.S.I.T.

M. Jouhet, chef de l'Atelier de Mécanique du C.R.S.I.T.

(**) Observatoire de Saint-Genis-Laval, près Lyon (Rhône).

Si l'on utilise une représentation graphique trichromatique, le système C.I.E. par exemple, on se heurte également à des difficultés notables. Ces difficultés proviennent, notamment, du fait, bien établi, que les différences visuelles égales ne se traduisent pas, par une distance constante entre les points figuratifs (4) (5). Est-il utile à ce propos de rappeler les travaux fondamentaux de Judd, qui ont abouti à la détermination des distances représentatives d'une même différence visuelle (cf. fig. 2). Les points figu-



ratifs des couleurs également distantes de la couleur de référence, ne se situent pas sur un cercle ayant pour centre le point figuratif de la couleur de référence, mais sur une ellipse. De plus, les dimensions, comme l'orientation des ellipses, varient suivant la couleur, la pureté et la brillance de la référence. Pour obtenir une expression valable de l'écart de couleur entre l'échantillon dégradé et témoin, il faut avoir recours à une formule mathématique du type de celle proposée par Nickerson, ou à une représentation graphique dans un système chromatique du type Hunter ou Adams.

D'autres difficultés théoriques proviennent du fait que la dégradation d'une teinture ne progresse pas toujours régulièrement en fonction du nombre de lux-heures requis.

Certaines teintures, peu nombreuses il est vrai, résistent pendant un certain temps à la lumière, puis leur dégradation s'amorce et se poursuit alors brutalement. D'autres, au contraire, — et celles-ci sont nombreuses — accusent dès leurs premières heures d'insolation un virage sensible (First break) et la dégradation ne se poursuit que lentement. Les courbes de dégradation dans le temps de teintures, l'un normale et les deux autres, A et B, correspondant aux cas particuliers précités sont figurés sur le graphique 3. Il apparaît clairement, que le classement par ordre de solidité croissante des teintures sera différent selon que l'appréciation de la dégradation sera effectuée aux temps t_1 , t_2 ou t_3 ;

- A < N < B au temps t_1
- B < A < N au temps t_2
- B < N < A au temps t_3 .

Il en va de même si l'on classe les teintures, par ordre de solidités croissantes, selon les temps plus

ou moins prolongés qui sont nécessaires pour obtenir une même dégradation.

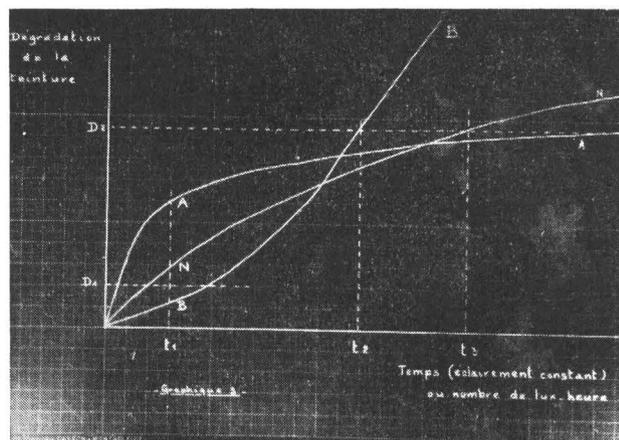
On aura:

- A < N < B pour une dégradation importante D_1 .
- B < N < A pour une dégradation faible D_2 .

L'application courante des méthodes objectives basées sur des mesures photométriques, se heurte également, à des difficultés d'ordre pratique: Les Laboratoires ont fréquemment à déterminer les solidités lumière de teinture sur filés, les solidités à la lumière de fils d'effet en articles unis, les solidités à la lumière des différentes nuances d'articles façonnés polychromes, les solidités à la lumière d'articles imprimés en plusieurs couleurs, dont les motifs d'impressions sont de forme irrégulière et de faible surface. Les mesures spectrophotométriques ou photolorimétriques sont difficiles et imprécises, voire, en l'état actuel de la technique, impossibles dans de tel cas.

Enfin, je ne m'arrêterai pas longuement à la dernière objection, que l'on ne manque pas de faire à toute proposition de détermination objective, voire mathématique des solidités des teintures. Je fais allusion à l'inévitable réaction de la « routine » vis-à-vis du progrès scientifique. Il n'en reste pas moins vrai, que nombre de coloristes experts en leurs métiers de teinturier ou d'imprimeur, se trouveraient fort embarrassés par la nécessité d'effectuer systématiquement des mesures photométriques et d'interpréter les résultats de leurs mesures par application de formules mathématiques relativement complexes.

Aussi bien, la Commission Française, comme les Commissions Etrangères de solidités des teintures, tout en suivant de très près les progrès de photomé-



trie scientifique et les possibilités nouvelles de la « mise en équation de la couleur » ont-elles eu la sagesse d'en rester, jusqu'à ce jour, à des méthodes simples présentant diverses imperfections connues — dont la subjectivité — mais présentant, en revanche, l'avantage d'être aisément utilisables par tous les praticiens quel que soit le niveau de leur culture scientifique.

**

EVALUATION DE LA SOLIDITE A LA LUMIERE D'UNE TEINTURE PAR COMPARAISON A DES TEINTURES ETALON

La méthode d'essai recommandée par le groupement d'Etudes Continentale Européen pour la solidité des teintures et impressions — E.C.E. est la suivante (6).

On utilise des types étalons de comparaison matérialisés par une gamme de 8 teintures bleues, sur laine, dont les solidités sont régulièrement échelonnées. La teinture 1 a une solidité très faible. La teinture 8 présente une solidité exceptionnelle. La solidité à la lumière d'un échantillon quelconque étudié sera apprécié par un chiffre de 1 à 8, qui indiquera la correspondance de solidité avec un des étalons bleus. On dispose sur un carton l'échantillon en examen et les 8 types étalon: Une partie de chacun d'entre eux (échantillon ou type étalons) étant recouverte par un carton opaque à la lumière. L'exposition se fait à la lumière du jour, à l'abri des intempéries dans des châssis munis d'un verre à vitre: toutes conditions d'expériences étant bien définies dans le « Code de l'E.C.E. ».

L'exposition comporte plusieurs périodes: On procède, en effet, à des recouvrements successifs des échantillons de façon à connaître, en fonction de la durée d'exposition, le comportement de la teinture en étude et les différents étalons. En général, la première période d'exposition prend fin lorsque les étalons 1, 2 et 3 sont nettement touchés. On recouvre alors, sur environ 1 cm. la partie insolée des échantillons et des types étalons et on continue l'insolation jusqu'à ce que l'étalon 5 soit nettement touché. On recouvre à nouveau comme indiqué ci-avant et on poursuit l'insolation jusqu'à ce que l'on obtienne une nette dégradation de l'étalon 7.

Lorsque l'exposition est terminée, et après un certain temps de repos, de préférence en chambre conditionnée, les échantillons et les étalons bleus sont examinés par des coloristes. L'observation étant faite perpendiculairement sous un éclairage en lumière naturelle, avec une incidence moyenne de 45° C, en l'absence de lumière solaire directe.

On donne à l'échantillon examiné, comme indice de solidité le numéro — 1 à 8 — de l'étalon type qui se dégrade à la lumière de la façon la plus rapprochée. Lorsque le comportement de l'échantillon étudié est intermédiaire entre celui de deux étalons, on lui attribue, pour indice de solidité, deux chiffres correspondant aux numéros de ces deux étalons (exemple 4-5).

Il est bien évident que cette assimilation, éminemment subjective, de la dégradation d'une teinture à celle d'un type est toujours fort délicate. Elle l'est particulièrement dans les cas où les nuances et clartés de l'échantillon et des types sont très différentes, dans les cas où la dégradation de l'échantillon étudié s'accompagne d'un net virage de nuance, ou, enfin, dans le cas où la dégradation de l'échantillon étudié n'est pas progressive dans le temps: cas du « first-breack » ou cas des colorants qui résistent longtemps sans s'altérer et brusquement se dégradent très vite.

Le code de solidité E.C.E. autorise l'emploi, pour effectuer des essais accélérés de solidité à la lumière, de divers appareils d'irradiation dont la source possède un spectre d'émission assez peu différent de celui de la lumière solaire. On peut recourir par exemple au Fadomètre ou au Weather Ometer de l'Atlas Electric Devices Corp de Chicago (Etats-Unis) au Fugitomètre Anglais, à la lampe au Xenon Allemande (7). Mais le code de solidité ajoute que les résultats de ces essais accélérés ne doivent être considérés que comme des données approximatives qui, en cas de contestations, doivent être confirmées par des essais en lumière naturelle. Enfin, il est bien précisé que l'emploi de lampes à vapeurs de mercure

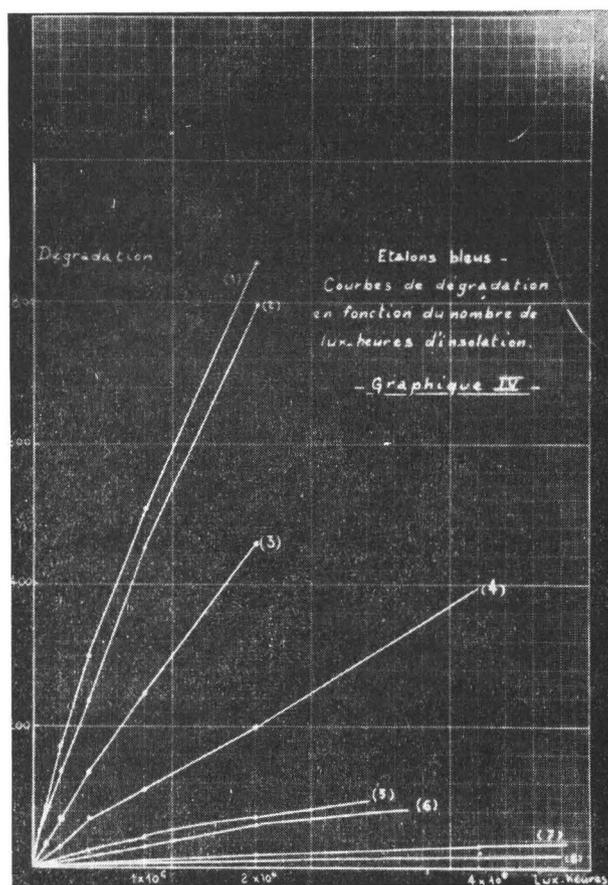
est inadmissible, car ces lampes émettrices d'ultra-violetes conduisent à des résultats presque toujours erronés.

Il nous a été donné d'effectuer, pendant ces derniers mois, un certain nombre de recherches techniques relatives aux différents paramètres intervenant dans le processus de déterminations des solidités lumière selon le code E.C.E.

Nous rappelons ci-après l'essentiel des résultats que nous avons obtenus:

A. — ETALONS DE TEINTURE.

Nous avons pu vérifier par des essais sur Insola-mètre Hélio-stat que la dégradation de ces étalons dans le temps est progressive (schéma 4). L'espace-



ment des courbes de dégradation de ces différents étalons est relativement satisfaisant. On est en droit de considérer cette gamme d'étalon comme un véritable actinomètre, aisément utilisable, et permettant de repérer indirectement, mais commodément, le nombre de lux-heure d'une exposition. Nous avons procédé, par ailleurs, à la même étude du comportement dans le temps des 8 étalons bleus, exposés dans l'enceinte d'un Weather Ometer Atlas. Nous avons pu ainsi établir une équivalence entre la lumière solaire et celle du Weather Ometer: Il a été trouvé que les teintures étalons subissent, en moyenne, pendant une heure d'exposition au Weather Ometer, une altération correspondant à celle que produit une exposition à la lumière solaire de 20 000 lux-heure environ.

B. — TEMPERATURE ET HUMIDITE DES ECHANTILLONS EXPOSES A LA LUMIERE SOLAIRE OU AU WEATHER OMETER.

L'influence de l'humidité de l'atmosphère sur la dégradation des teintures au cours de leur exposition à la lumière a été étudiée, de façon approfondie, par de nombreux chercheurs. L'influence de la chaleur est également bien connue. Si certains colorants, tels ceux qui sont utilisés pour la teinture des étalons bleus de solidité, sont relativement peu sensibles aux variations climatiques, d'autres en revanche, voient leur solidité à la lumière varier dans une large mesure suivant les conditions de température et d'humidité ambiantes. On peut citer, comme exemple caractéristique d'une telle sensibilité, aux influences atmosphériques, la combinaison azoïque Naphtazol 3 B — Base pour écarlate solide R, l'indice de solidité lumière d'une teinture en nuance moyenne réalisée avec un colorant varie de 6-7 en atmosphère sèche à 3 en atmosphère d'humidité saturante.

Il paraissait utile de rechercher si les appareils d'irradiation accélérée ne mettaient pas les échantillons dans des conditions d'humidité et de température bien différentes de celles des échantillons exposés à la lumière solaire. Une cause d'erreur pourrait ainsi s'ajouter à celle, inévitable, due aux différences de composition du spectre d'émission.

Les résultats obtenus (8) sont, à cet égard, très rassurants (c. tableau I). (figure 5).

Les températures lues sur thermomètre à fond blanc ou à fond noir, sont du même ordre de grandeur dans l'enceinte du Weather Ometer Atlas ou sur le panneau d'exposition de l'Insolamètre par jour de soleil franc: intensité lumineuse de 48 000 lux-heure.

La détermination directe de l'humidité relative étant inévitablement entachée d'erreur, on a procédé à une mesure indirecte. On a déterminé les taux d'eau fixés par des échantillons de différents textiles. On s'est alors reporté à des isothermes d'absorption d'eau de ces textiles et on a obtenu ainsi les valeurs d'humidité relative d'une atmosphère « fictive » dans laquelle les mêmes échantillons retiendraient les mêmes quantités d'eau.

Compte tenu de leur échauffement par le rayonnement solaire ou artificiel qu'ils reçoivent, les échantillons se trouvent placés pratiquement dans les mêmes conditions d'humidité dans l'enceinte du Weather Ometer ou sur le panneau de l'insolamètre par soleil vif d'été.

Remarquons au passage que l'humidité de l'échantillon placé dans le Weather Ometer croît sensiblement si on l'abrite de la lumière de l'arc: Il se met alors en équilibre avec l'atmosphère ambiante à 45°H.R. environ.

C. — CHOIX D'UNE LUMIERE STANDARD POUR LA COMPARAISON DES DEGRADATIONS DES ECHANTILLONS ET DES TEINTEURES-ETALONS

Nous ne saurions trop attirer l'attention sur les difficultés que les chercheurs de Laboratoire éprouvent lorsqu'ils ont à effectuer les cotations des dégradations des teintures, après exposition à la lumière, par comparaison avec la dégradation des étalons bleus exposés dans les mêmes conditions.

Nous avons observé, dans certains cas, des écarts de plus de deux points, entre les cotations de solidité lumière indiquées par le même coloriste exercé, selon que les comparaisons aux étalons bleus étaient

effectuées à la lumière naturelle un jour ensoleillé ou à la lumière naturelle, également, mais un jour de ciel gris couvert.

Nous nous sommes alors demandé s'il ne devrait pas être convenu, au sein des Commissions de Solidité, du choix d'une lumière artificielle standard.

Des études sont en cours dans nos Laboratoires sur les différentes lampes « lumière du jour » actuellement réalisées, mais il ne nous est pas possible de retirer actuellement de nos études, une conclusion définitive.

Tout au plus, pouvons-nous affirmer que la lampe « lumière du jour » T.C.B. — Toussaint-Pinte, constituée par une lampe à incandescence dont la lumière est filtrée par une combinaison de verres colorés, donne le spectre parfaitement équilibré d'un « jour moyen ». Cette lampe présente malheureusement l'inconvénient de ne fournir qu'un éclairage peu intense: 50 lux environ à la distance de 60 cm nécessaire pour assurer un bon mélange des flux colorés.

Il ressort, par ailleurs, de nos études que la combinaison de 4 ou 5 tubes fluorescents convenablement choisis et disposés sur un lustre mélangeur de lumière, donne un éclairage intense et en premier examen assez satisfaisant.

Nos études portent également sur le dispositif dit « Lampe du jour Gamain » constitué par mélange de divers tubes fluorescents, et d'une lampe à filament alimentée sur rhéostat.

Selon son auteur, cette lampe permettrait d'obtenir une lumière s'apparentant à l'étalon C du C.I.E. Nous pensons, que si l'on pouvait commodément disposer d'une source de lumière correspondant effectivement à l'étalon « C » de C.I.E. le problème serait résolu et la recommandation pourrait être faite par les Commissions de solidité du choix d'une telle lumière pour les évaluations des dégradations des teintures.

* *

CONCLUSIONS

Nous voici au terme de cette revue, à bâtons rompus, de divers problèmes qui se trouvent actuellement posés par la recherche et le perfectionnement des méthodes d'évaluation de la solidité à la lumière des teintures.

Faut-il en manière de conclusion s'arrêter à la contemplation du chemin parcouru depuis plusieurs années?

Tous nos collègues qui œuvrent, au côté de l'actif et éclairé président Blondel, dans la Commission des solidités des teintures de l'I.T.F. ne seront pas de cet avis.

Ils préféreront, avec nous, se tourner résolument vers l'avenir, et saisir l'heureuse occasion de ce colloque pour attirer l'attention des spécialistes de la colorimétrie scientifique qui se trouvent réunis, sur divers sujets d'étude.

Permettez-nous d'en citer au moins trois:

— La sélection de photocolorimètres ou de spectrophotomètres, permettant l'examen de surfaces colorées de faibles dimensions.

— Le choix de méthodes simples — mais scientifiquement valables — d'appréciation de la dégradation des teintures à partir des données photométriques.

— La réalisation de « lampes d'examen » fournissant une lumière de référence correspondant à un des types définis par le C.I.E.

Il nous reste, Messieurs, en vous demandant de retenir ces suggestions, à vous remercier de l'attention que vous avez accordée à notre exposé.

TABLEAU I

TEMPERATURE	SUR INSOLAMETRE 48.000 lux-heure	WEATHER OMETER ATLAS
Thermomètre « blanc »	35°C	39°C
— « noir »	47°C	57°C
Humidité relative (%) <i>de l'atmosphère d'équilibre</i>		
déterminé à partir de l'échantillon exposé	15 % (environ)	14 % (environ)
déterminé à partir de l'échantillon abrité du rayonnement		40 à 45 %

TABLE DES REFERENCES

1. — C. Zuber : Teintex 1952, 17 p. 708 et suivantes.
2. — C. Zuber : Courrier de la Normalisation, 1953, 110 p. 140 et suivantes.
3. — J.-P. Niederhauser : Teintex 1952, 17 p. 3 et suivantes.
4. — P. Mougeot : Teintex 1951, 16 p. 662 et suivantes.
5. — P.-J. Bouma « Les Couleurs et leur Perception Visuelle ». Bibliothèque technique Philips (Dunod) 1949.
6. — Code de solidité. Edité par le Groupement d'études Continental Européen pour la solidité des Teintures et Impression (E.C.E.).
En France : Association pour l'étude et la publication des méthodes de détermination de solidité, 12, rue d'Anjou. — Paris (8^e).
7. — Anonyme : Bull. I.T.F. 1957, 70 p. 79 et suivantes.
8. — P. Rochas et S. Pierret : Bull. I.T.F. (à paraître prochainement).

ÉTAT DU PROBLÈME DE LA NORMALISATION DE L'ÉTALON DE BLANC

par J. GILLOD

Chef du Laboratoire des Recherches d'Optique.

L'étude spectrophotométrique des surfaces diffusantes colorées ne peut se faire commodément que par comparaison avec une surface étalon de référence.

Théoriquement les qualités idéales souhaitables pour un tel étalon seraient les suivantes:

1. — Il doit être blanc, c'est-à-dire renvoyer intégralement, quelles que soient les longueurs d'onde, toutes les radiations qu'il reçoit.
2. — La luminance doit être la même dans toutes les directions et quelle que soit la longueur d'onde c'est-à-dire que la diffusion doit se faire selon la loi de Lambert.

Il convient d'ajouter les qualités secondaires suivantes:

1. — Bonne reproductibilité
2. — Bonne conservation dans le temps
3. — Facilité de fabrication, d'emploi et d'entretien.

Depuis plusieurs années des essais ont été faits, les uns par emploi de poudres blanches agglomérées sous forte pression, (magnésie, carbonate de magnésie, carbonate de plomb, oxide titanique, oxyde de zinc, de thorium etc...), les autres par un emploi d'oxyde de magnésium obtenu par combustion du métal.

Ces essais ont pratiquement circonscrit le problème qui se ramène maintenant à la comparaison de deux étalons possibles: l'un à base de carbonate de magnésie comprimé, l'autre étant obtenu par dépôt d'oxyde de magnésium sur argent. Sans être officiellement normalisés les deux procédés sont déjà employés officieusement l'un et l'autre.

Ni l'un, ni l'autre ne remplissent parfaitement les conditions énumérées plus haut.

Sur la demande de l'AFNOR, le Laboratoire National d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers et l'Institut d'Optique de Paris ont bien voulu se charger de poursuivre en collaboration l'étude

comparative des deux types d'étalons en vue d'aboutir à leur normalisation. Un programme de recherches proposé le 8 novembre 1956 a été adopté par le Comité spécial des échanges créé par l'AFNOR.

La première partie du programme concernait la création d'un appareillage nécessaire, soit à la réalisation mécanique des surfaces soit à une physique précise de leurs propriétés optiques.

Des moules d'acier conçus pour supporter de fortes pressions et permettre un démoulage correct ont été construits en quatre dimensions pour la confection de surfaces de carbonate de magnésie comprimé. Le fonctionnement de ces moules est très satisfaisant.

Pour étudier avec précision la luminance des surfaces dans toutes les directions, un appareil enregistreur des indicatrices de diffusion a été dessiné, puis réalisé mécaniquement et optiquement, dans les ateliers du Laboratoire National d'Essais.

L'appareil est terminé et en cours de montage et d'essai, sauf la partie enregistrement automatique. Cette deuxième partie est commode mais non indispensable, de sorte que les études comparatives des surfaces vont commencer incessamment. Le Laboratoire National d'Essais se charge spécialement des surfaces de carbonate de magnésie et l'Institut d'Optique des surfaces d'oxyde de magnésie sur argent, les deux établissements restant d'ailleurs en complète liaison. Des mesures absolues seront nécessaires dont se chargera l'Institut d'Optique.

Enfin il est bon de signaler qu'une troisième surface blanche, formée d'une lame de verre opaline est étudiée et préconisée comme étalon « secondaire » à cause de sa parfaite stabilité dans le temps et de son **entretien facile.**

Il est permis d'espérer qu'après l'étude systématique comparative des qualités respectives des surfaces à base de carbonate de magnésie comprimé et des surfaces à base d'oxyde de magnésium, étude qui va être menée dans les prochains mois, un projet de normalisation de ou des étalons de blanc, pourra être proposé dans un délai d'environ une année.

APERÇU SUR L'ÉTAT ACTUEL DU PROBLÈME DES TOLÉRANCES

par Pierre MOUGEOT

Chef du Laboratoire de Physique

COMPAGNIE FRANÇAISE
DES MATIÈRES COLORANTES

*Monsieur le Président,
Mesdames, Messieurs,
Mes Chers Collègues,*

Je tiens tout d'abord à vous rassurer. Je n'ai pas l'intention de me présenter devant vous comme un prestidigitateur qui va sortir de sa manche un nouvel espace des couleurs riemannien ou non, ayant la prétention de résoudre le problème de la Métrique des Couleurs et de son corollaire, les tolérances visuelles. Je ne suis d'ailleurs pas géomètre de métier et si j'avais voulu comme dit Judé « voler dans les espaces courbes », je n'aurais pas manqué de me faire assister par notre célèbre Nicolas Bourbaki, afin d'éviter d'effectuer devant vous un atterrissage forcé, pour le moins inélégant, et comme disent les aviateurs de « casser du bois ».

J'ai seulement cédé à la sollicitation de quelques amis qui ont insisté pour que je vous donne aujourd'hui le point de vue de mon Laboratoire sur l'état actuel de cette question qui préoccupe à juste titre un grand nombre de techniciens des Industries de la Couleur.

Mon Laboratoire a entrepris en effet, depuis un an et demi environ, de nombreux essais dans le but de comparer entre elles différentes formules proposées pour la mesure de faibles différences de couleur et de confronter les résultats obtenus avec les observations visuelles d'une dizaine de personnes, coloristes de métier ou non, mais possédant toutes une vision des couleurs normales.

Mais cette étude est loin d'être terminée, de sorte que je vous donnerai seulement, aujourd'hui, des conclusions partielles.

Avant de vous exposer les résultats de deux séries de mesures choisies parmi celles qui montrent le mieux ce qu'on est en droit d'espérer — ou de craindre — des formules actuelles, je tiens d'abord à vous faire remarquer qu'à mon avis le problème a été magistralement traité au point de vue théorique par notre collègue Monsieur Blottiau dans son exposé « Le Problème de la Tolérance des Couleurs » présenté au congrès de Heidelberg en juin 1955 et publié dans le numéro de décembre de la même année de la revue allemande « Die Farbe ». Les Cahiers de Physique (numéro de février 1955) ont aussi publié une étude du même auteur, d'un profond intérêt pour le problème qui nous préoccupe aujourd'hui.

Mes prétentions se bornent donc à attirer une fois de plus l'attention des milieux scientifiques sur l'intérêt des recherches concernant la métrique des couleurs en souhaitant que les crédits nécessaires leur soient alloués. D'autre part, je me propose de mettre

en garde nos jeunes collègues colorimétristes ou coloristes de l'industrie qui, dans l'euphorie de l'acquisition d'un colorimètre ou d'un spectrophotomètre et à la lecture de certains ouvrages, penseraient pouvoir facilement résoudre au moyen des différentes formules publiées jusqu'alors le redoutable problème de la tolérance des couleurs. Je dois préciser cependant que mon désir est de les encourager dans cette voie, mais il est nécessaire qu'ils connaissent les difficultés et les limites auxquelles on se heurte sous peine d'éprouver des déceptions dont les effets pourraient être difficiles à surmonter ultérieurement.

Je parlerai tout à l'heure de quelques formules proposées par différents chercheurs pour mesurer les faibles différences de couleur. Les auteurs en connaissent sûrement les imperfections et les limites mais beaucoup de compilateurs se sont bornés à recopier ces formules sans prendre l'élémentaire précaution d'essayer de les comprendre. Bien entendu, ils n'ont pu mettre le lecteur en garde contre les dangers — si j'ose ainsi m'exprimer — qui résultent toujours de l'application d'une formule insuffisamment assimilée, que l'on risque d'extrapoler dans un domaine interdit. C'est d'ailleurs un des rôles des études supérieures de mathématiques et de physique que d'éviter de tomber dans de semblables pièges.

Il me faut d'abord définir exactement le problème que je dois traiter aujourd'hui. L'expérience montre qu'il est relativement facile, à chromaticité constante, de mettre d'accord les coloristes de l'industrie sur le classement d'une série de couleurs lorsque seule la clarté (Y) varie. L'inverse est également vrai en général. Le coloriste distingue bien les différences de chromaticité à clarté constante, mais le problème se complique terriblement lorsqu'il s'agit de combiner à la fois les variations de chromaticité et les variations de clarté.

Bien entendu, de vieux coloristes ont la prétention de résoudre ce problème avec aisance par un simple examen visuel. Il faut d'abord leur faire remarquer qu'ils ne sont pas toujours d'accord entre eux, ceci en dehors de toute question d'anomalie de vision. En outre, ils confondent facilement les différences de chromaticité et de clarté. Même, en ce qui concerne la chromaticité seule, ils sont souvent en désaccord avec les mesures spectrophotométriques. Ils confondent couramment un excès dans le rouge avec un manque dans le vert, etc...

Il est certain que la question devient alors très ardue et sujette à contestations, lorsqu'il s'agit de mettre d'accord plusieurs observateurs sur la *conformité acceptable* d'une reproduction d'une couleur de surface déterminée. Si les deux échantillons ne sont pas identiques, ce qui est le cas le plus fréquent, il faut même tenir compte de questions de

goût personnel, certaines personnes préférant par exemple une teinte plus saturée mais plus claire, ou inversement. C'est cet ensemble si complexe qui constitue le problème des tolérances.

Il est donc d'un intérêt considérable dans l'industrie, de remplacer les jugements subjectifs par une mesure objective de la différence de couleur et de définir la limite acceptable pour cette différence. Bien entendu, cette limite variera avec les exigences imposées dans chaque cas particulier et nécessitera toujours un accord préalable entre le producteur et l'utilisateur. Nous devons préciser que dans l'état actuel de la métrique des couleurs, on peut tout au plus espérer mesurer de faibles différences de couleurs que nous désignerons par ΔE . L'évaluation numérique de différences plus considérables n'a pratiquement aucune signification.

Deux méthodes permettent d'aborder actuellement le problème des tolérances en attendant que la métrique de l'espace des couleurs ait fait des progrès suffisants pour nous guider sûrement dans l'extrême complexité de cette question.

On peut essayer d'utiliser :

1. — nos connaissances concernant les seuils différentiels des couleurs
2. — l'espace Munsell qui actuellement ne peut guère être contesté par les colorimétristes.

Il me semble complètement inutile de faire remarquer que l'espace des couleurs euclidien XYZ est arbitraire. Son but est surtout le repérage numérique des couleurs et il aurait fallu un hasard extravagant pour qu'il corresponde à la vision humaine qui ne semble guère s'embarrasser des difficultés mathématiques. C'est ainsi que le fameux triangle des couleurs est un lieu géométrique à chromaticité non constante. Des tentatives nombreuses que vous connaissez tous ont été faites pour obtenir par une transformation homographique des représentations planes à chromaticité plus ou moins constante. Le problème s'est révélé insoluble pour l'ensemble des sensations visuelles et il est indispensable de s'adresser alors à des surfaces gauches.

Je n'insisterai pas sur ces questions. Outre les publications de Monsieur Blottiau, vous en trouverez d'excellentes exposées dans Judd (Color in Business, Science and Industry) et dans l'ouvrage de notre Président M. Y. Le Grand (Optique physiologique). L'abondante bibliographie de ces publications vous permettra de vous reporter, au besoin, aux articles originaux.

FORMULES LES PLUS COURAMMENT EMPLOYÉES POUR LES MESURES DE DIFFÉRENCES DE COULEURS

Je n'ai pas l'intention de vous donner ici une liste de toutes les formules proposées pour évaluer les différences de couleurs. Je laisserai en particulier volontairement de côté les formules antérieures à celles de Hunter (1942). Je regrette aussi de passer sous silence les études de Monsieur le Professeur Richter que j'ai le plaisir de saluer parmi nous. J'aurais aimé faire état de ses travaux et de ceux de ses collaborateurs qui ont abouti au système D.I.N. Mais je n'ai pas encore réussi à obtenir une documentation suffisamment complète, je m'abstiendrai donc de donner un avis à ce sujet. Je vous avouerai aussi que l'énorme avance des Anglo-Saxons, en colorimétrie, nous a incités à examiner d'abord les résultats de leurs travaux.

1. — Formule de Hunter.

L'unité NBS de différence de couleur a été définie à nouveau en 1942 à partir de la formule de Hunter basée sur le diagramme α, β . Si Y est la clarté de l'échantillon coloré, $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ les différences de chromaticité entre un échantillon E_1 et cet étalon E_0 , et en posant :

$$\Delta(y^{\frac{1}{2}}) = y_0^{\frac{1}{2}} - y_1^{\frac{1}{2}}$$

la différence de couleur mesurée en unités NBS est :

$$\Delta E = f_g \left\{ \left[700 y^{\frac{1}{2}} (\Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2)^{\frac{1}{2}} \right]^2 + \left[k \Delta(y^{\frac{1}{2}}) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ou f_g est un facteur destiné à corriger l'influence parasite du « brillant » qui tend à masquer ou à « noyer » en quelque sorte la différence de couleur dans le flux de lumière réfléchi vers l'observateur. La constante k dépend de la largeur de la ligne de séparation entre les deux couleurs comparées. Elle varie de 120 environ pour une ligne de séparation très fine (par exemple 2 touches voisines de peintures écrasées sous une plaque de verre jusqu'à juxtaposition, feuilles de papier se recouvrant, etc...) jusqu'à 40 et même 30 dans de moins bonnes con-

ditions de comparaison. On a $f_g = \frac{y}{y + k_g}$.

Le cliché n° 1 donne, d'après Judd, les valeurs de f_g en fonction de la clarté de la surface, pour $k_g = 0,025$.

Si nous faisons $\Delta y = 0$, le 1^{er} terme de la formule peut donner une mesure de la différence de chromaticité à clarté constante. En la désignant par $\Delta(\text{Ch})$ on a :

$$\Delta(\text{Ch}) = f_g \left[700 y^{\frac{1}{2}} (\Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Afin d'éviter des difficultés et des contestations dans le choix des valeurs de f_g et de k , nous avons jusqu'alors effectué uniquement des comparaisons entre des « couchages » de pigments sur papier. Ces couchages sont suffisamment mats pour prendre $f_g = 1$ et les conditions d'observation (juxtaposition étroite des échantillons) permettent de choisir sans introduire d'erreur appréciable $k = 100$.

Cette formule de Hunter, sur laquelle nous avons insisté parce qu'elle est à la base de la définition de l'unité NBS est malheureusement assez compliquée et ne se prête pas dans les industries de la couleur à des calculs rapides et commodes. Bien sûr, un ingénieur, ou même un technicien effectuera facilement ces calculs au moyen de tables numériques et d'une machine à calculer; encore devra-t-il faire un petit effort d'attention pour placer correctement les virgules. Mais que deviendra le malheureux contre-maitre devant les pièges, élémentaires sans doute, mais redoutables pour lui, tendus par ces accumulations d'élevations tantôt à des puissances 1/4 et 1/2, tantôt à des puissances 2. Il est évident que cette formule ne peut être appliquée couramment. Le cliché n° 3 vous donne un certain nombre d'autres expressions de ΔE très employées aux U.S.A. et que nous avons nous-mêmes appliquées dans nos études.

2. — Formule de Hunter simplifiée par Scofield (1943).

$$\Delta E = \left[(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

avec $L_1 = 100 y_1^{\frac{1}{2}} ; L_2 = 100 y_2^{\frac{1}{2}}$

$$a_1 = \frac{7 L_1 \alpha_1}{7 L_1 \beta_1} ; a_2 = \frac{7 L_2 \alpha_2}{7 L_2 \beta_2}$$

$$b_1 = \frac{7 L_1 \alpha_1}{7 L_1 \beta_1} ; b_2 = \frac{7 L_2 \alpha_2}{7 L_2 \beta_2}$$

Cette formule n'est pas toujours en accord avec l'expression précédente donnée par Hunter, en particulier lorsque Y_1 et Y_2 sont notablement différents.

3. — *Formule de Adams ou de Nickerson et Stultz (1944).*

$\Delta E = \left\{ (0,23 \Delta y)^2 + [\Delta (V_x - V_y)]^2 + [0,4 \Delta (V_z - V_y)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$
 ou V_y est la fonction de clarté Munsell définie par la relation:

$$\frac{R}{R_{Mgo}} = 1,2219 V_y - 0,23111 V_y^2 + 0,23951 V_y^3 - 0,021009 V_y^4 + 0,0008404 V_y^5$$

Les fonctions V_x et V_z s'obtiennent de façon analogue.

$$\frac{X}{X_{Mgo}} = \frac{X}{0,9804} = 1,2219 V_x \text{ etc...}$$

$$\frac{Z}{Z_{Mgo}} = \frac{Z}{1,1810} = 1,2219 V_z \text{ etc...}$$

Cette formule paraît très séduisante pour deux raisons:

1. — elle est basée sur le diagramme d'Adams combiné avec l'échelle Munsell
2. — elle est d'un emploi plus commode car on trouve dans de nombreux ouvrages des tables des valeurs V_x , V_y , V_z et dans une publication de G.L. Buc dans *Am. Dyestuff Reporter* 1952, n° 12, les valeurs des différents termes en fonction de Δ . Une règle à calcul spéciale ou des abaques permettent aussi de simplifier l'application de cette formule. Malheureusement, le mode d'emploi de la règle est assez compliqué et demande une pratique journalière. Faute d'entraînement, il vaut mieux utiliser les tables.

4. — *Formule de Saunderson et Milner 1946.*

Ces auteurs ont imaginé un espace dit « zéta » qui se rapproche assez étroitement de l'espace Munsell. Les différences de couleurs sont exprimées par:

$$\Delta E = [\Delta \zeta_1]^2 + (\Delta \zeta_2)^2 + (\Delta \zeta_3)^2]^{\frac{1}{2}}$$

avec

$$\zeta_1 = (V_x - V_y)(9,37 + 0,79 \cos \theta)$$

$$\zeta_2 = k V_y$$

$$\zeta_3 = (V_z - V_x)(3,53 + 0,87 \sin \theta)$$

$$\theta = \text{Arc tg} \frac{0,4 (V_z - V_y)}{V_x - V_y}$$

Il faut évidemment faire attention aux signes de $\cos \theta$ et de $\sin \theta$.

Des graphiques permettent éventuellement de simplifier les calculs.

Ces graphiques sont très pratiques à la condition d'avoir pris le soin élémentaire de les construire soi-même de façon à bien assimiler leur emploi.

5. — *Formule de Mac Adam.*

Des formules exprimant soit les différences de chromaticité, soit les différences de couleur ont été proposées par Mac Adam, Davidson, J. J. ~~Herman~~ ^{Herman}, G. W. Ingle, L. Rudick, etc...

On peut assez facilement en donner des solutions graphiques. C'est cette dernière méthode que nous avons préférée.

Ces formules, basées sur la détermination de seuils devraient donner, à priori, des résultats pratiques plus voisins de la réalité pour de très faibles différences de couleurs. Cette méthode mérite sûrement de susciter de nouvelles recherches afin de multiplier

le nombre d'observations et d'en tirer, par le calcul statistique, des données les plus conformes possibles à la moyenne de la vision humaine.

Les coefficients des formules (2), (3) et (4) ont été choisis de façon à ramener les résultats en unités NBS et à être comparables à ceux obtenus avec la formule de Hunter (1). Ces coefficients sont des valeurs moyennes recommandées par Judd. En réalité, les facteurs devraient tenir compte des différences éventuelles de teinte, de saturation et de clarté. Mais, le problème devient alors presque inextricable et entaché d'une part d'arbitraire considérable.

1^{er} EXEMPLE. (Voir fig. 4: pigment bleu). — Nous avons examiné une série de 6 couchages sur papier. Le cliché n° 4 indique sur un graphique en coordonnées polaires, d'une part le classement effectué par les observateurs et, d'autre part, les mesures de ΔE en unités NBS au moyen des différentes formules que nous avons examinées tout à l'heure.

Comme vous pourrez le constater dans cet exemple, la grande majorité des observateurs a classé l'échantillon A avant l'échantillon B, c'est-à-dire l'a considéré comme le plus voisin du type, pour lequel $\Delta E = 0$ et qui est représenté par le pôle du graphique. Les différentes formules classent aussi le A en première position. Quant au B, les formules de Hunter et de Mac Adam le rejettent à l'avant-dernière position avant le E qui est considéré, sans conteste, comme extrêmement loin du type. Les échantillons C et D sont classés correctement par les différentes formules que nous avons utilisées.

La formule de Hunter-Scofield ne semble pas indiquer une différence suffisante entre l'échantillon D et l'échantillon E, ce dernier étant nettement très différent du premier. Il est vrai que nous nous trouvons alors dans des cas de mesures de différence de couleur qui, à notre avis, dépassent largement les possibilités des relations dont on dispose actuellement, tant qu'une métrique des couleurs correcte n'aura pas été établie.

On pourra nous reprocher peut-être d'avoir choisi comme échantillon A, c'est-à-dire le plus proche du type, une couleur qui s'en écartait déjà notablement. Nous avons simplement voulu éviter de nous trouver dans un domaine de ΔE trop petit où l'accord des observateurs devient extrêmement difficile et qui nécessiterait l'application du calcul statistique sur un très grand nombre d'individus et d'observations.

2^e EXEMPLE. (Voir fig. 5 pigment vert). — Le deuxième exemple est aussi constitué par une série de couchages sur papier de couleur verte maintenant. Mais remarquons cette fois, que toutes les formules considèrent l'échantillon B comme étant le plus proche du type alors que, visuellement, tous les observateurs *sans aucune exception*, estiment l'échantillon A nettement le plus conforme au type.

On remarque que les formules placent, en général, l'échantillon A en troisième position, celle de Mac Adam le place même en quatrième position. C'est là un exemple très caractéristique des erreurs que peut entraîner l'utilisation inconsidérée des formules que nous avons indiquées.

Le diagramme suivant montre la représentation, en coordonnées rectangulaires dans le triangle classique des couleurs, des différents pigments bleus et verts dont nous avons parlé précédemment. Dans les deux cas, le type est représenté par le point noir de gros diamètre. Je n'oserais affirmer que l'examen de ces graphiques nous expliquera toutes les anomalies que nous avons observées, mais remarquons cependant que pour les pigments bleus en particulier, l'échantillon A est, sans conteste, le plus proche, à la fois

au point de vue chromatique et clarté du type. Quant à l'échantillon B, on conçoit qu'il puisse être préféré par les observateurs à l'échantillon C par exemple, en raison de sa pureté supérieure.

Quant aux différentes formules, on constate que certaines, Hunter et Mac Adam par exemple, tiennent beaucoup moins compte de ce facteur.

Par contre, pour les pigments verts, les observateurs en classant l'échantillon A en tête, donnent beaucoup plus d'importance à la clarté que toutes les formules qui classent, au contraire, en tête, l'échantillon D.

Les résultats illustrés par ces deux exemples permettent de tirer un certain nombre de conclusions intéressantes:

1. — Il est évident que même si on se borne à mesurer de très faibles différences de couleurs, les résultats varient suivant le domaine de l'espace des couleurs dans lequel se trouve situé le type.

2. — On pourrait sans doute mettre d'accord avec l'observation visuelle certaines formules, en choisissant dans chaque cas particulier des coefficients de correction pour les différents termes de ces expressions. Mais alors, le problème perd pratiquement tout son intérêt puisqu'il exigerait l'établissement d'un nombre énorme d'échantillons, leur classement visuel et même souvent l'étude statistique des résultats de ce classement, pour déterminer les coefficients en question.

Je tiens à attirer l'attention de certains laboratoires industriels qui voudraient utiliser les formules que nous avons examinées, et employer dans les relations commerciales l'unité NBS ainsi définie, pensant que cette dernière constitue un étalon de mesure. Il n'en est rien. Des raisons multiples: accommodation de l'œil, contraste avec le « paysage voisin », domaine envisagé dans l'espace des couleurs, etc... en font varier en quelque sorte la valeur visuelle.

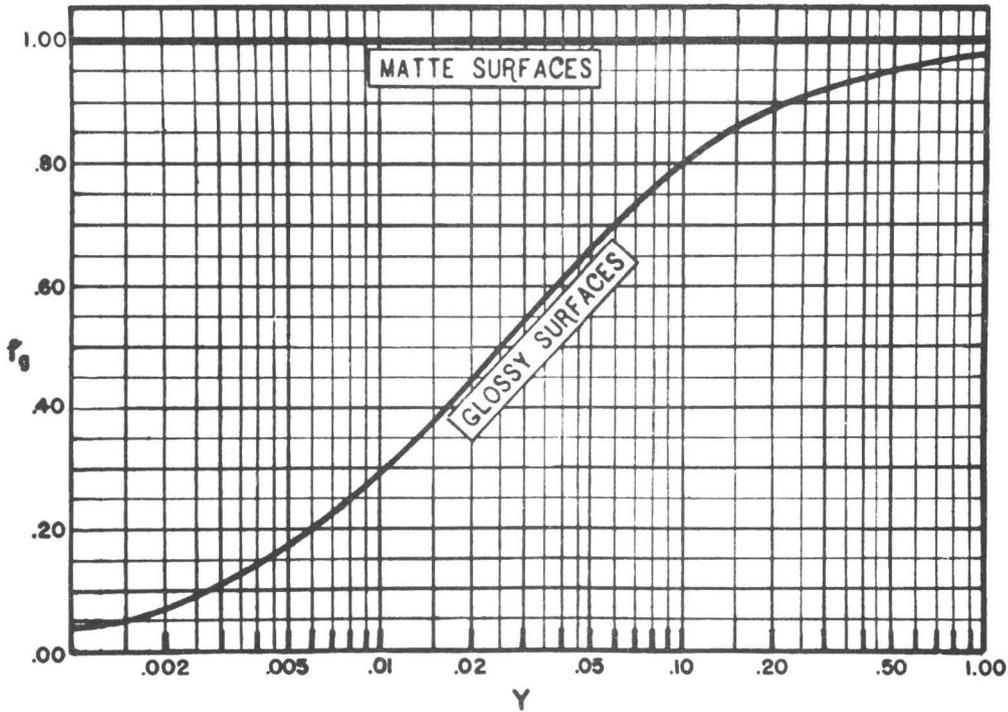
On peut donc, en résumé, après avoir rappelé une fois de plus les longueurs des calculs et les erreurs possibles, affirmer que les formules actuelles, hélas, n'apportent pas un instrument de travail industriel bien pratique et bien sûr dans la résolution du problème des tolérances. J'aurais pu, en effet, multiplier les exemples vous montrant les mêmes divergences ou le même accord, suivant le domaine envisagé dans l'espace des couleurs. Notre laboratoire pense continuer quelques recherches pratiques dans ce sens mais, encore une fois, je suis persuadé que seule une équipe très nombreuse de chercheurs pourrait arriver à améliorer nos connaissances dans ce domaine.

Mais le problème des tolérances proprement dites ne sera pas encore résolu pour autant. Il faudra en effet obtenir l'accord du producteur et de l'utilisateur sur le ΔE maximum admissible. En admettant que la bonne foi des deux parties en présence ne soit pas faussée par des intérêts purement commerciaux, il restera un travail considérable à effectuer: préparer un nombre suffisant d'échantillons encadrant le type.

On peut espérer sans doute simplifier le problème de la détermination des tolérances en adaptant à l'étude des couleurs de surface un comparateur de couleur, tel que celui qui a été construit à l'Institut d'Optique.

Comme vous le constatez, il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine. Une étroite collaboration entre les Laboratoires de recherches scientifiques d'une part et les Laboratoires de l'industrie privée d'autre part, est indispensable pour obtenir le plus rapidement possible un résultat positif donnant satisfaction à la fois aux physiciens, aux physiologistes et aux utilisateurs de la couleur.

En terminant, je n'oublierai pas de remercier mes collaborateurs qui ont bien voulu mettre à ma disposition tous leurs travaux personnels.



—The gloss factor, f_g , plotted as a function of Y for $K_0=0.025$.

FIG. 1

AUTEURS	FORMULES	COEFFICIENTS
<u>HUNTER</u>	$\Delta E = f \left\{ \left[100y^{\frac{1}{2}} (\Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2)^{\frac{1}{2}} \right]^2 + \left[k \Delta(y^{\frac{1}{2}}) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$ $\alpha = \frac{2,4266x - 1,3631y - 0,3214}{1,0000x - 2,2633y + 1,1054}$ $\beta = \frac{0,5710x + 1,2447y - 0,5708}{1,0000x + 2,2633y + 1,1054}$	$f = 1$ $k = 100$
<u>HUNTER-SCOFIELD</u> (SIMPLIFIÉ)	$\Delta E = f \left[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $L = 100 y^{\frac{1}{2}}$ $a = 7L \alpha$ $b = 7L \beta$	$f = 1,2$
<u>ADAMS</u>	$\Delta E = f \left\{ (0,23 \Delta V_x)^2 + [\Delta(V_x - V_y)]^2 + [0 + \Delta(V_x - V_y)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$	$f = 50$
<u>SAUNDERSON-MILNER</u>	$\Delta E = f \left[(\Delta \zeta_1)^2 + (\Delta \zeta_2)^2 + (\Delta \zeta_3)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ $\zeta_1 = (V_x - V_y)(9,37 + 0,79 \cos \theta)$ $\zeta_2 = k V_y$ $\zeta_3 = (V_x - V_y)(3,33 + 0,87 \sin \theta)$	$f = 6$ $k = 2$
<u>MAC-ADAM</u>	SOLUTION GRAPHIQUE (ABAQUES EN COORDONNÉES OBLIQUES)	

FIG. 2

PIGMENT BLEU		$x = 0,179$	$y = 0,158$			
		$y = 0,190$				
FORMULES	A	B	C	D	E	
HUNTER	1,3	2,5	1,9	2,2	5,5	
HUNTER-SCOFIELD	1,5	1,7	2,9	3,3	3,7	
ADAMS	1,4	1,7	2,4	2,9	6,2	
SAUNDERSON-MILNER	1,5	1,8	2,6	3,1	7,5	
MAC-ADAM	1,4	3,7	2,4	3,3	5,9	

PIGMENT VERT		$x = 0,215$	$y = 0,290$			
		$y = 0,334$				
FORMULES	A	B	C	D	E	
HUNTER	2,4	1,0	2,8	2,3	3,8	
HUNTER-SCOFIELD	2,4	1,3	1,9	2,8	3,0	
ADAMS	2,0	1,1	1,9	2,4	2,8	
SAUNDERSON-MILNER	2,2	1,1	1,9	2,5	2,9	
MAC-ADAM	3,0	0,8	2,8	2,1	3,8	

FIG. 3

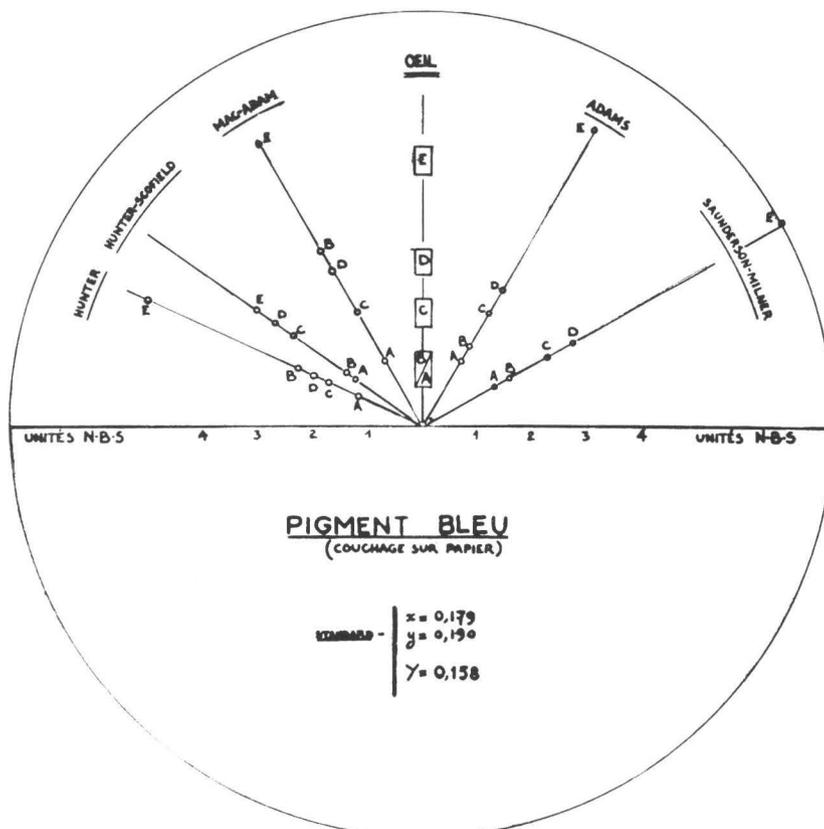


FIG. 4

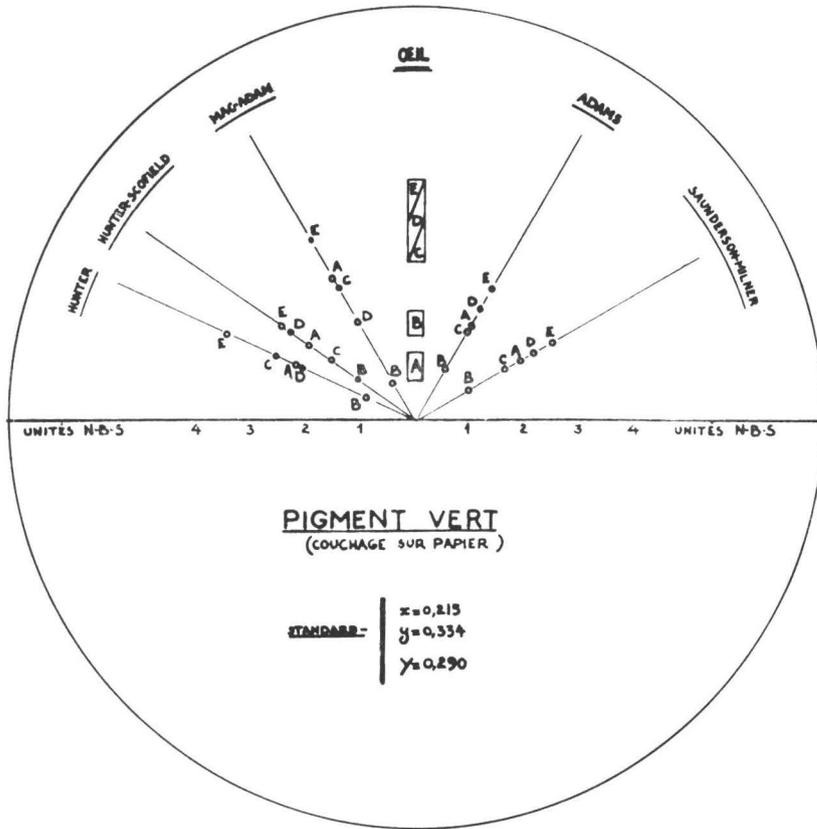


FIG. 5

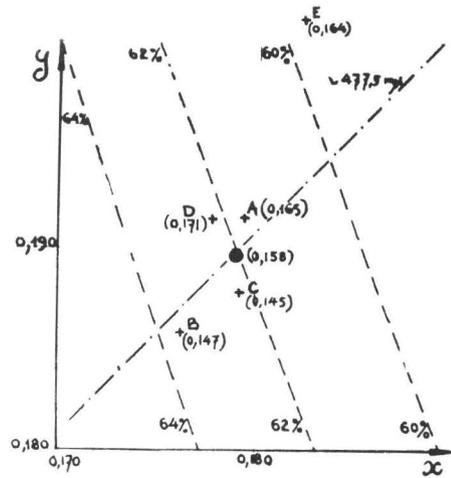
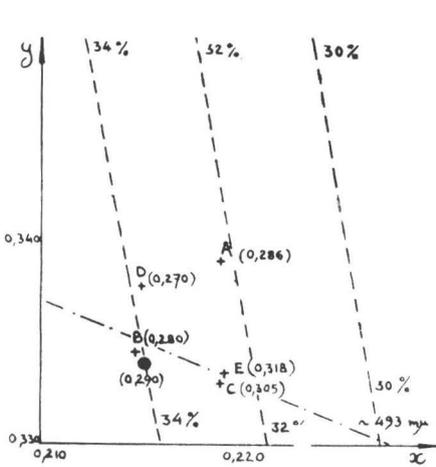


FIG. 6

SITUATION ACTUELLE DES ÉTUDES SUR LA COULEUR EN ALLEMAGNE

par le Prof. Dr. MANFRED RICHTER (Berlin)

M. le Professeur Le Grand, Président de la séance, a eu l'amabilité de m'inviter à vous rendre compte des travaux effectués en Allemagne sur les questions discutées lors des Journées Internationales de Toulouse. Je suis très honoré de vous donner ce compte rendu et je tiens à remercier le Professeur Le Grand de son invitation. C'est une description succincte de l'activité des Sous-Commissions agissant dans le cadre de la Commission de Normalisation de la couleur qui donnera la meilleure idée de l'état actuel des problèmes en Allemagne. Cette Commission s'occupe de tous les problèmes concernant la couleur en tant que phénomène optique; elle désire ne pas se cantonner dans le travail de normalisation proprement dit, mais remplir également la fonction d'association scientifique. On a obtenu ainsi la collaboration de tous les spécialistes travaillant sur les problèmes de la couleur en Allemagne.

Chaque travail scientifique nécessitant une *terminologie précise*, une Sous-Commission a été chargée de s'occuper de cette question particulière. Les définitions de base de la colorimétrie ont déjà été réunies dans la norme allemande DIN 5033, feuille 1, parue en 1954. Les études sur la terminologie continuent; un dictionnaire multilingue est préparé, dont un échantillon préliminaire a été constitué par le vocabulaire colorimétrique préparé pour les Journées Internationales de Heidelberg en 1955.

Immédiatement après celui de la terminologie, le domaine de la mesure des couleurs est sans doute le plus important pour le développement et pour l'utilisation de la colorimétrie. Ce domaine a été couvert, également en 1954, par les normes DIN 5033, feuilles 2 à 8, qui contiennent les bases du système C.I.E., et la répartition des procédés de mesure en procédés spectrophotométriques, et procédés d'égalisation, mais discutent aussi les conceptions d'une colorimétrie exacte, différente selon qu'il s'agit de corps lumineux ou de couleurs pigmentaires. Nous — de la question très importante de la *précision* des mesures colorimétriques. L'établissement de *tolérances* possibles en accord avec la précision et la reproductibilité des mesures, si importantes pour l'application courante de la colorimétrie, constitue également un de nos premiers soucis. Il est nécessaire d'évaluer comparativement les nombreuses formules définissant les tolérances, problème dont nous venons d'être informés par la conférence de M. Mougeot et qui fait l'objet en Allemagne, d'une autre Sous-Commission.

Une très grande importance a été attachée en Allemagne, à l'élaboration d'un système colorimétrique à échelle de chromaticité uniforme, utilisable aussi bien pour la normalisation que dans la pratique, sans avantagez des domaines particuliers. Vous savez peut-être que nous avons élaboré un tel système voici quelques années, après avoir effectué, spécialement dans ce but, des études psychologiques s'échelonnant sur plusieurs années. Les bases numé-

riques de ce système ont été enregistrées dans la norme allemande DIN 6164. A partir de cette norme, on établit à présent des échantillons destinés à représenter ce système dans *un atlas de couleurs* (DIN-Farbenkarte). A titre de projet, nous l'avons publié sous forme de collection de filtres gélatine, tout en espérant que cette représentation pourrait également être employée pour l'exécution définitive, ce qui aurait eu un certain nombre d'avantages. Toutefois, lors de la présentation de ce projet, on a constaté que les techniciens des industries de la peinture, du textile, et des Arts Graphiques, préféreraient de loin les échantillons vus par réflexion. Ceci nous a conduit à les concevoir sous forme de feuilles annexes à la norme DIN 6164, chacune contenant les couleurs dérivées d'une copie déterminée. Nous espérons que cet atlas ne sera pas seulement une contribution à l'exploration scientifique de l'espace des couleurs, mais qu'il servira d'outil à des fins pratiques. On a également pensé à élaborer pour les couleurs de ce système — ou au moins pour les plus courantes — des *feuilles d'échantillons limites* permettent l'établissement des tolérances et du contrôle de la façon la plus simple.

La normalisation de comparaison des éclairages, surtout dans les domaines industriels, est étroite-reuses diverses et mal définies crée en effet des neuses diverses et mal définies créés en effet des divergences de vues dont les conséquences économiques sont désastreuses. Nous sommes définitivement partisans *des lampes à arc au Xénon* fournissant une lumière très proche de la lumière du jour naturelle, utilisable aussi bien en colorimétrie que pour l'évaluation d'échantillons. Nous attachons aussi une grande importance à la détection des sujets dotés d'une vision anormale. Cette question qui, initialement, concernait surtout le personnel de la circulation et de la navigation, commence à prendre de plus en plus d'importance dans les entreprises de teinture, de peinture et d'imprimerie.

La qualité de l'éclairage est également liée aux problèmes du *rendu des couleurs*. Dans ce domaine, on étudie à présent la description simple et pratique du rendu des couleurs propre à chaque source lumineuse, en rapport étroit avec les travaux correspondants de la C.I.E. Également en collaboration étroite avec la C.I.E., on travaille à normaliser *les couleurs de signalisation*; selon les types de moyens de transport (circulation routière, ferroviaire, aviation), il a fallu définir des domaines de tolérances encore plus étroits que ceux choisis par la C.I.E. pour les faire correspondre aux règlements déjà en vigueur.

Nous attribuons enfin une importance particulière à la *documentation*. Dans ce but, on a adjoint à la revue scientifique spécialisée « Die Farbe » un *ser-bibliographique* qui s'efforce d'englober, sous forme d'un fichier, toutes les publications importantes, au fur et à mesure de leur parution. Ces fiches, jointes, à chaque numéro de la revue, sont imprimées sur du papier calque afin de faciliter aux utilisateurs le tirage d'un nombre convenable de copies,

On a en outre édité une bibliographie de la couleur pour les années 1940 à 1949 que suivra d'ici peu un deuxième tome couvrant les années 1950 à 1954.

D'autres Sous-Commissions s'occupent des questions particulières comme celles de la résistance des pigments, colorants, encres, etc..., à la lumière, des couleurs dans l'art et à l'école, et enfin des couleurs pour Anaglyphes. Dans le domaine des *encres d'imprimerie*, on a normalisé des jeux pour la tri- et la quadri-chromie en typographie et en offset (DIN 16508 et 16509) pour permettre aux photographes d'adapter une base connue à toute l'impression en couleur. Une sous-commission s'occupe de *la couleur dans les lieux de travail*, une autre des noms de couleurs; en outre, une Commission spéciale se préoccupe de l'étude du blanc, problème qui a aussi été traité au cours de ces Journées. Une Sous-Com-

mission, qui sera chargée des problèmes colorimétriques de la télévision en couleur, est en préparation.

Cette énumération ne peut donner qu'un aperçu sommaire des efforts faits en Allemagne dans l'étude des problèmes de la couleur. Sans pouvoir prétendre que ces travaux aient déjà conduit à la formation de groupes de chercheurs aussi importants que ceux existant en France et en Angleterre, nous constatons que déjà quelques chercheurs allemands étudient des questions concernant la vision des couleurs. Nous nous efforçons toutefois d'effectuer nos travaux en collaboration étroite avec nos collègues étrangers, et nous serions heureux de voir se développer cette collaboration ébauchée dans les réunions internationales. Je peux vous assurer, au nom de mes collègues allemands, que nous ne manquerons pas d'y apporter notre contribution.

RÉSOLUTIONS ET VŒUX

A — Section 1 - Colorimétrie

B — Sous-Commission Arts Graphiques

A. — SECTION 1. — COLORIMÉTRIE

Il apparaît très souhaitable d'établir une collaboration internationale afin d'étudier en commun les problèmes de la couleur.

En particulier, une étroite collaboration existe déjà entre les Commissions de Colorimétrie belges et françaises qui ont convenu d'établir un protocole de travail commun. Les Journées Internationales de Toulouse ont mis en évidence les desiderata suivants :

1. — La poursuite des enquêtes relatives aux résultats fournis par les divers appareils de mesure et de contrôle.

2. — Les principes devant servir de base à la construction d'appareils de mesure et de contrôle.

3. — Les limites de précision souhaitables pour chaque domaine d'application, ce qui nécessite une enquête et une étude sur les tolérances de couleurs par une collaboration des producteurs, des utilisateurs et des normalisateurs, ainsi que l'intensification de leur collaboration.

4. — L'établissement d'une terminologie commune aux divers domaines d'application et l'étude des équivalences dans les langues étrangères.

5. — La mise en fabrication, sur le marché national, de rubans de magnésium chimiquement pur destinés à la fabrication d'étalons blancs primaires.

6. — La réalisation d'étalons secondaires de blanc.

7. — La spécification, la réalisation et le contrôle des sources qui fournissent une lumière voisine de celle du jour et destinée à la comparaison des échantillons.

8. — La spécification, la réalisation et le contrôle des sources qui fournissent une lumière destinée à l'étude accélérée de la solidité à la lumière.

B. — SOUS-COMMISSION ARTS GRAPHIQUES

V Œ U X

1. — La sous-commission émet le vœu que soient étudiées les bases objectives pour caractériser et classer des jeux d'encres primaires destinés à la trichromie, préparant une normalisation ultérieure éventuelle.

2. — Que soit constituée une commission technique groupant des spécialistes fabricants et utilisateurs, chargée d'entreprendre dès que possible ce travail en liaison avec les organismes étrangers.

3. — Que soient tout d'abord étudiés par cette commission :

a) Les méthodes et modes opératoires ;

b) Les appareils de mesure (ainsi que l'éclairage d'examen) devant définir d'une façon objective :

— le rendement chromatique des encres (domaine de reproductibilité) ;

— leurs structures spectrales, de manière à assurer la facilité, la qualité, l'harmonie des reproductions.

4. — Que soit entreprise, auprès des créateurs et réalisateurs de documents, une action d'information les amenant à utiliser des matériaux colorés reconnus comme se prêtant le mieux à la reproduction trichrome.

SECTION II

HYGIÈNE

CONFORT

SÉCURITÉ

Président : M. le Professeur Jean PLANQUES, professeur de médecine du travail et la Faculté de Médecine de Toulouse; Président de la Société de Médecine du travail de la région toulousaine.

Président

de séance : M. Jean DUVAL, Directeur technique de l'AFNOR, Administrateur du C.I.C.

Rapporteurs : M. LUTIER, Secrétaire Général adj. du C.I.C.
M. LEVY, Chef du service des Etudes générales et de la Documentation à l'Institut National de Sécurité.

LUMIÈRE ET COULEUR

Eléments d'hygiène, de confort et de sécurité du travail

NORMALISATION DES COULEURS ET SÉCURITÉ

par M. Jean DUVAL

Directeur technique de l'Association Française de Normalisation.

Administrateur du Centre d'Information de la Couleur.

Le but permanent de la normalisation est de *rendre service* ; ceci veut dire que dans tous les domaines où quelque chose d'utile paraît devoir et pouvoir être fait, la normalisation a un rôle à jouer. Elle s'est déjà largement penchée sur nombre de problèmes industriels de manière à, grâce à des normes appropriées, faciliter la fabrication de produits de meilleure qualité et à moindre prix.

Elle se penche aussi sur les produits naturels pour classer ce que la nature nous fournit en fonction de critères appropriés aux usages auxquels ils sont destinés et permettre ainsi à chaque consommateur de demander la qualité qui lui convient et de la retrouver constante. Elle s'efforce de faciliter le langage technique, commercial ou scientifique grâce à la mise au point de vocabulaires monolingues ou multilingues comportant des définitions soigneusement étudiées. Elle facilite les travaux des laboratoires par la mise à leur disposition de méthodes d'essais physiques, chimiques, mécaniques soigneusement étudiées. Elle œuvre encore dans bien d'autres domaines, même très nouveaux comme l'énergie nucléaire.

La normalisation dans le domaine des couleurs implique une étroite association de considérations techniques, scientifiques, physiologiques et psychologiques. Nous savons tous que la couleur est très répandue autour de nous, qu'elle sert à beaucoup d'usages mais il faut reconnaître que jusqu'à ces dernières années elle a été employée, lorsqu'elle l'était, d'une manière généralement arbitraire. En particulier le lien étroit existant entre « lumière et couleur » n'a pas le plus souvent été compris.

On peut grouper en trois catégories les emplois habituels des couleurs :

a) *les couleurs d'ambiance* employées pour revêtir les locaux où sont destinés à vivre, se reposer ou travailler des êtres humains, couleurs dont le choix doit être tel que, selon le cas, le repos ou le travail s'en trouve facilité.

b) *les couleurs de signalisation* indiquant, dans un atelier par exemple, l'emplacement de dispositifs accessoires des installations de sécurité ou encore servant à repérer soit la nature des fluides (vapeur, eau, air, gaz divers, fluides combustibles, produits chimiques, etc...) susceptibles d'être distribués dans les différentes sections d'une usine ou résultant de la fabrication et qu'il faut éviter de confondre, soit la nature de gaz comprimés ou liquéfiés contenus dans des bouteilles ou récipients appropriés, soit les caractéristiques des courants électriques.

c) *les couleurs de sécurité* qui ont un rôle particulier car, elles ont pour objet essentiel de faire connaître sous une forme particulièrement frappante l'existence d'un danger, la possibilité de ce danger ou l'absence de danger.

L'utilisation de ces trois grandes catégories de couleurs n'obéit pas aux mêmes règles mais leur emploi tend vers un même but qui est de maintenir l'homme au travail ou au repos en bonne condition physique et psychologique soit grâce à une ambiance favorable à son équilibre nerveux soit en le prémunissant contre un accident éventuel. Vous voyez ainsi apparaître dans tous ces cas, comme toile de fond de nos pensées, le mot : *Sécurité*.

Maintenant que nous avons défini l'objet de notre étude permettez-moi de vous présenter les organismes de normalisation nationale et internationale qui s'en occupent.

La normalisation française est gérée par l'*Association Française de Normalisation* (AFNOR), Association privée régie par la loi de 1901, qui bénéficie d'un Statut officiel garanti par un certain nombre de textes législatifs ou réglementaires. L'AFNOR a pour rôle d'étudier toute proposition de normalisation sur le plan français, de coordonner toutes les activités normalisatrices s'exerçant au sein de certaines professions, de susciter et d'encourager toute initiative tendant à la normalisation et d'une manière générale de faire toute propagande utile dans ce sens. L'AFNOR, par le moyen de Commissions appropriées

étudie les avant projets de normes, les soumet à une procédure réglementaire de manière à obtenir l'accord de tous les producteurs, distributeurs, usagers ainsi que des pouvoirs publics; lorsque cet accord est réalisé, elle soumet les normes à l'homologation Ministérielle par l'intermédiaire d'une haute personnalité, le Commissaire à la Normalisation.

Ne croyez surtout pas que, comme on le dit trop souvent, les normes cristallisent les techniques; ce serait d'ailleurs bien dommage dans un domaine aussi mouvant et en plein essor que celui des couleurs. La normalisation est vivante et toute norme peut être révisée dès qu'il apparaît qu'elle est devenue, pour des raisons diverses, insuffisante. Déjà, dans le domaine des couleurs de sécurité, les travaux en cours nous amènent à envisager la révision de certaines normes existantes.

Le désir de l'AFNOR d'encourager toutes les initiatives en matière de normalisation l'a conduite à accorder son patronnage et un appui puissant au Centre d'Information de la Couleur; c'est pour moi un plaisir particulier de voir que celui-ci, grâce à la compréhension de toutes les professions, se développe rapidement et qu'ainsi sur le plan technique il va pouvoir être l'artisan de la préparation de nombreuses normes futures.

Sur le plan international, la normalisation est poursuivie par un Organisme appelé *Organisation Internationale de Normalisation* (ISO) dont le siège est à Genève et qui est une Fédération des Organismes Nationaux de Normalisation. En effet, il existe actuellement dans quarante pays un Organisme National de Normalisation analogue à l'AFNOR. En Angleterre c'est la British Standards Institution (BSI), en Belgique c'est l'Institut Belge de Normalisation (IBN), en Allemagne c'est le Deutscher Normenausschuss (DNA), aux Etats-Unis c'est l'American Standards Association, Incorporated (ASA), etc...

L'ISO coordonne les normes nationales de ses participants et facilite les échanges internationaux qu'il s'agisse de marchandises ou même simplement de connaissances techniques ou scientifiques. Cette coordination se fait grâce à des recommandations internationales élaborées par ses soins et que les différents pays sont invités, s'ils sont d'accord, à incorporer dans leurs normes nationales.

Ces recommandations sont préparées par des Comités Techniques spécialisés qui portent un numéro d'ordre chronologique; par exemple le Comité ISO/TC 80 « Couleurs de Sécurité », qui a créé deux sous-comités et un groupe de travail. Ces Comités Techniques ont un Secrétariat qui, pour les couleurs de sécurité, est détenu par les Pays-Bas et ses membres sont les Associations Nationales de Normalisation membres de l'ISO. Ces Comités Techniques se réunissent sur l'initiative de leur Secrétariat, les Associations Nationales de Normalisation des différents pays y envoient des délégations nationales et ce sont celles-ci qui recherchent un accord sur les points techniques soulevés. Par exemple, à l'heure actuelle, une Recommandation internationale portant sur le choix des trois couleurs de sécurité est sur le point d'être définitivement acquise.

Cet effort de normalisation internationale est très nécessaire car, il est infiniment souhaitable qu'un voyageur, accoutumé dans son pays à certains signaux, ne soit pas trompé ou dérouté lorsqu'il arrive dans un autre pays par des signaux inconnus ou dont la signification est différente de celle qu'il connaît. C'est pourquoi, depuis longtemps des Organismes Internationaux se sont préoccupés des problèmes de signalisation dans les domaines qui les intéressent: routes, chemins de fer... L'ISO maintient naturellement une liaison étroite avec de tels organismes.

Pour mener à bien la normalisation des couleurs et

particulièrement des couleurs de sécurité, il faut prendre certaines précautions:

1) *Les couleurs doivent être choisies et disposées de manière à rendre très improbable toute confusion entre elles*, même si les conditions d'éclairage sont mauvaises soit momentanément, soit d'une manière permanente, même si des agents agressifs, atmosphériques notamment, ont altéré la surface colorée, même enfin, si une certaine dégradation de la teinte s'est produite par vieillissement.

La nécessité de choisir des couleurs suffisamment différentes les unes des autres, et la difficulté de trouver des pigments stables à un prix abordable, font que le nombre des couleurs pratiquement utilisables est très restreint. Dans le cas d'emploi des couleurs pour la signalisation de fluides dans les tuyauteries ou pour l'identification des gaz comprimés ou liquéfiés en bouteilles, il est possible de ne pas se contenter d'une seule couleur pour obtenir le résultat cherché mais d'en combiner plusieurs. Les normes donnent les règles à suivre pour réaliser cette association (par exemple couleur de fond, nombre, largeur et disposition des anneaux). Cependant, malgré les possibilités que donnent ces combinaisons, on s'aperçoit en pratique, que le nombre des couleurs utilisables est encore très insuffisant pour permettre l'identification de tous les fluides susceptibles d'être transportés. En effet, les combinaisons ne doivent pas être trop compliquées, car, d'une part, leur réalisation serait longue, coûteuse et souvent impossible, d'autre part, le personnel les interpréterait difficilement et cela entraînerait des risques d'erreurs plus préjudiciables que l'absence même de signalisation. La conséquence en est l'impossibilité matérielle de répondre à un désir souvent formulé de voir réaliser des Codes Universels donnant l'identification par couleur de tous les fluides connus, dont le nombre croît d'ailleurs très rapidement, surtout dans l'industrie chimique. Il a donc été nécessaire de n'inclure dans les normes que l'identification des fluides les plus répandus qu'on pourrait presque appeler inter-professionnels (eau, vapeur, air, oxygène, etc...) et de s'en remettre aux industries ou entreprises particulières du soin de réaliser des Codes complémentaires à usage interne pour les fluides les intéressant plus particulièrement.

Ces Codes particuliers doivent naturellement permettre une identification rapide, sans erreur possible des fluides de telle manière que manipulations et manœuvres de récipients ou de vannes se fassent dans des conditions de sécurité complète.

Cette *réaction immédiate* de l'observateur que l'on cherche ainsi à favoriser le plus possible, est déjà essentielle pour la sécurité de celui-ci lorsqu'il s'agit de couleurs de repérage mais, elle est encore plus importante lorsqu'il s'agit de couleurs de sécurité. Dans tous ces cas, il ne peut être question pour l'observateur de réfléchir et encore moins de sortir un Mémento de sa poche, pour interpréter la couleur ou la combinaison de couleurs qu'il a devant les yeux et pour décider de la réaction que cette constatation doit engendrer en lui. Son réflexe doit être de même nature que celui demandé à un bon conducteur d'automobile.

2) *Le code des couleurs de sécurité doit être simple et clair* car il doit avoir un caractère international et les mentalités ou les facultés de réagir dépendent beaucoup des races et des latitudes. Son application doit être assez aisée pour ne pas décourager les bonnes volontés surtout lorsqu'il s'agit de modifier des habitudes anciennes.

Pour toutes ces raisons, la normalisation internationale des couleurs de sécurité, a, dès le début, eu le

grand mérite de n'en retenir que trois, clairement définies:

- Rouge : Arrêt ou accomplissement immédiat d'un acte nécessaire pour se protéger du danger
- Jaune orangé: Attention, possibilité de danger
- Vert : Absence de danger

En raison des habitudes existantes, le rouge est également utilisé pour le matériel de lutte contre l'incendie et le vert pour les postes et matériels de secours.

Dans certains pays on utilise actuellement à la fois le jaune et l'orangé pour mettre en garde ou attirer l'attention. Etant donné la parenté existant entre ces deux indications, la coexistence de ces deux couleurs en attendant la généralisation aussi rapide que possible du jaune orangé, ne semble pas présenter d'inconvénient majeur.

Au cours des travaux internationaux, certains pays ont insisté pour adjoindre la couleur bleue aux trois couleurs de sécurité ci-dessus et avaient proposé un cercle rouge pour signifier une interdiction et un cercle bleu signifier un ordre.

Si ceci avait été adopté les usagers auraient eu sans doute fréquemment du mal à distinguer en pratique un ordre d'une interdiction. Par exemple l'expression: « Défense de fumer » est-elle une interdiction ou un ordre? Elle a le caractère d'un avis de danger si le fait de fumer peut entraîner un incendie ou une explosion; elle a au contraire le caractère d'un règlement sans rapport avec la sécurité s'il s'agit par exemple d'empêcher de fumer dans un cinéma pour ne pas nuire à la pureté de la projection. A ce propos nous insisterons sur la nécessité de ne pas confondre un danger et un règlement. Le danger existe avant qu'on ait décidé de prévoir une réglementation pour s'en prémunir. Mais en sens inverse une réglementation peut être édictée sans être motivée par un danger, mais seulement par des considérations d'organisation.

Il a été finalement décidé que la couleur bleue ne serait pas élevée au rang de couleur de sécurité mais serait seulement utilisée comme couleur de signalisation auxiliaire des couleurs de sécurité et ce, dans un but d'organisation ou d'information; par exemple on utilisera une flèche bleue ou une lampe bleue pour signaler un panneau de sécurité ou un dispositif susceptible de concourir à celle-ci.

Le souci de limiter le plus possible le nombre de couleurs de sécurité a amené à renoncer à l'emploi des couleurs pour désigner par exemple des dangers particuliers; comme nous le verrons dans un instant, on remplace la couleur comme moyen de fournir ces renseignements par des schémas.

La norme américaine Z 53.1-1953 prévoit la couleur noire pour désigner le danger de radiation; outre la difficulté de définir et de réaliser correctement une couleur noire qui ne se confonde pas avec le rouge à quelle complexité arriverait-on s'il fallait affecter une couleur à chaque type de danger!

3) *Pour qu'une normalisation internationale des couleurs de sécurité soit efficace il est indispensable que tous les pays consentent à effectuer les changements voulus de leurs règlements pour s'aligner sur elles.*

Il nous a été signalé que dans certains pays d'Amérique du Sud, le rouge n'était pas utilisé dans le sens d'une interdiction mais que c'était la couleur verte.

Selon la norme américaine déjà citée, une tentative a été faite dans ce pays il y a une dizaine d'années, pour désigner les sorties de secours par la couleur verte, comme on le fait maintenant à peu près partout; par exemple au Royaume-Uni (norme

BS 2959-1957) les sorties de secours sont indiquées par un signal vert et une flèche verte. De même le groupe de travail n° 1 de l'ISO/TC 80 a préconisé l'indication d'un texte blanc dans un rectangle vert. Malheureusement aux Etats-Unis des résistances à cette évolution se sont manifestées et la récente édition de la norme américaine a repris l'ancienne couleur rouge pour la désignation des sorties de secours.

4) *Dans le cadre des principes précédents le choix des couleurs doit être l'objet d'un soin particulier.*

Ainsi, le choix des couleurs de sécurité n'a pas été effectué arbitrairement: d'une part ce sont celles qui sont appliquées le plus souvent, d'autre part, l'état de fait constitué par l'emploi déjà assez général de ces couleurs a sans doute pour origine en partie des considérations physiologiques qui en ont dicté presque sans que l'on s'en aperçoive le choix: le vert abaisse la pression sanguine, favorise l'équilibre mental et soulage; il convient donc bien pour signifier l'absence de danger c'est-à-dire pour l'observateur, l'absence de souci. Le rouge augmente la tension musculaire, la pression sanguine, il est un stimulant mental, il évoque l'idée de sang, donc de souffrance; il convient donc bien aux cas où il faut favoriser les décisions rapides de l'observateur. Le jaune orangé est un stimulant mental mais à un moindre degré que le rouge. Il stimule l'œil et les nerfs mais il est sans effet sur la pression sanguine. Il met donc l'observateur dans les conditions voulues pour prêter attention.

De même les couleurs d'ambiance ne doivent pas être choisies au hasard, mais en fonction de considérations physiologiques et psychologiques qui dépendent non seulement des locaux auxquels elles doivent être appliquées mais également et surtout du personnel qui doit y vivre. Leur choix doit dépendre de certaines règles générales concernant notamment leur association, dans un même endroit, compte tenu de l'éclairage et des contrastes, en recherchant une ambiance de luminance aussi uniforme que possible et en réalisant des contrastes de couleurs plutôt que des contrastes de luminance trop fréquemment utilisés jusqu'ici. A titre d'exemple on a remarqué qu'en peignant les machines avec des couleurs claires, non seulement on rendait l'ambiance d'un atelier de mécanique plus gaie, mais encore on incitait le personnel à mieux les entretenir car sur une surface claire les taches se voient mieux que sur une surface foncée. Dans certains cas on a adopté le vert clair ou le bleu clair et dans d'autres, comme par exemple, dans les normes suisses, les couleurs gris clair et gris moyen.

De même on ne choisira pas la même couleur dans un local destiné au repos et dans un bureau.

Enfin, dans le choix des couleurs d'ambiance il convient conformément à la FD X n° 08-004:

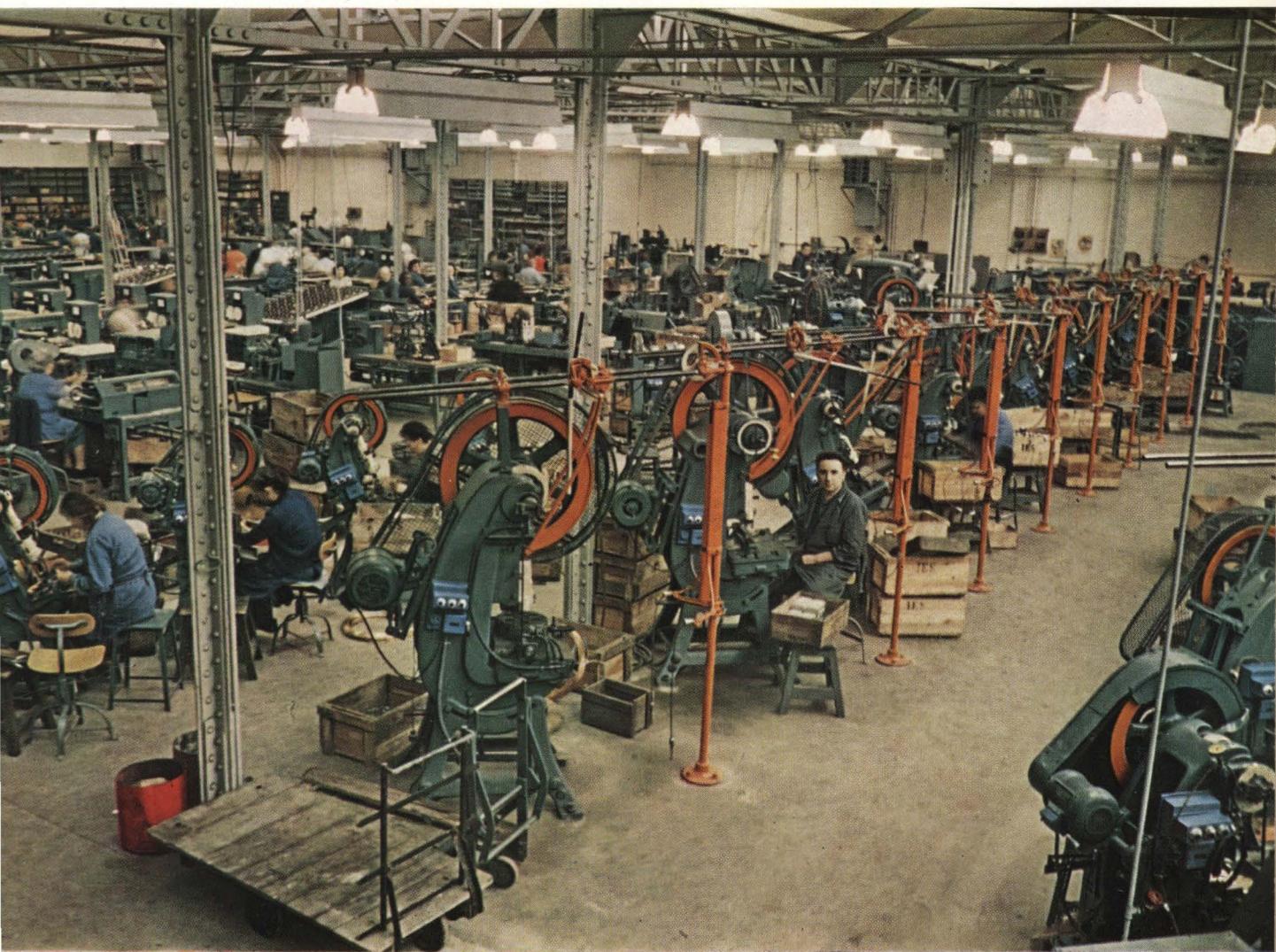
- de rechercher des oppositions de couleurs optima. Ceci est le cas des couleurs de machines et des murs. Ainsi à titre d'exemple, des couleurs recommandées seraient:

<i>Murs</i>	<i>Machines</i>
Chamois clair	Vert clair
Beige-crème	Bleu-vert clair
Ocre-jaune clair	Bleu clair

- de rechercher la lumière éclairante optimum.

Le seul fait de donner au plan de travail une couleur différente de celle de l'entourage a évité bien des accidents.

Lorsqu'on utilise une signalisation de sécurité dans un local, les peintures peuvent être appliquées soit sur l'objet lui-même soit sur des panneaux spéciaux, il convient de faire en sorte qu'elles soient très visi-



*Mise en couleurs fonctionnelles d'un atelier de fabrication
de l'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE DE LA SEINE
à ROMAINVILLE*

réalisée avec les peintures René VILLEMÉR et un
éclairage de la Compagnie des lampes MAZDA
Conseiller technique M. A. LARROUY
Photographie Maurice DÉRIBÉRÉ

bles et généralement sur de petites surfaces afin de ne pas interférer avec les couleurs d'ambiance qui couvrent des surfaces relativement grandes.

5) *Les couleurs normalisées doivent être définies d'une manière précise et sans ambiguïté soit scientifiquement soit par comparaison avec des étalons.* Le Comité Technique ISO/TC 80 a décidé de définir (voir Annexes 1 et 2) les couleurs de sécurité au moyen de leur coordonnées x , y dans le diagramme chromatique CIE (Commission internationale de l'éclairage) et de leur facteur de luminance déterminés dans les conditions d'éclairage et d'observation fixées par la CIE (surface éclairée à 45° au moyen de l'étalon C de la CIE et observée perpendiculairement). Ces coordonnées sont encore provisoires. La mise en application a déjà montré que pour le rouge la définition adoptée ne permet pas d'utiliser certains pigments particulièrement stables. Les coordonnées chromatiques des peintures employées ont été données pour des peintures fraîches. Les limites admissibles de vieillissement seront fixées plus tard après une expérimentation convenable.

L'AFNOR a entrepris depuis plusieurs années la normalisation d'étalons de couleurs aussi stables et judicieusement choisis que possible destinés à être utilisés dans les laboratoires, l'industrie et le commerce. Ces étalons seront définis scientifiquement par leurs coordonnées, leur facteur de luminance et leur courbe spectrale. Trois séries d'étalons sont prévues :

— un *étalon primaire blanc*, base fondamentale de la théorie des couleurs; des exemplaires peuvent en être, dès maintenant, obtenus au Conservatoire National des Arts et Métiers, à Paris.

— Des *étalons secondaires*, pouvant présenter une surface brillante ou une surface mate, au nombre de 30 (19 étalons colorés et 11 étalons échelonnés du blanc au noir).

Ils ont été choisis par la Commission de l'AFNOR et il est prévu de mettre, d'ici deux ans, environ, à la disposition des laboratoires s'intéressant à la couleur, ces séries d'étalons établis sur verre et avec des pigments dont la stabilité a été éprouvée.

Ces étalons sont dits « interprofessionnels », parce qu'ils sont sur un support unique, le verre, qui a été choisi pour obtenir la réalisation la plus parfaite possible, sans tenir compte du fait qu'en pratique on colore des supports extrêmement divers dont l'influence est considérable.

— Des séries d'*étalons tertiaires*, chacune réalisée sur le support (soie, laine, caoutchouc, papier, etc...) intéressant une branche industrielle. Ces étalons « professionnels » seront rattachés aux étalons secondaires, par comparaison photocolorimétrique.

L'emploi d'atlas de couleurs si réputés soient-ils, ne donne pas des garanties suffisantes pour une normalisation internationale; a fortiori l'emploi de dénomination plus ou moins fantaisistes telles que celles fréquemment rencontrées dans le langage courant ne doivent pas être retenues dans des documents techniques ou scientifiques.

Ainsi, non seulement l'infinie variété des tempéraments des individus susceptibles d'avoir à apprécier des couleurs, la diversité de leurs facultés visuelles, mais encore la fantaisie personnelle à chacun, ont conduit la plupart des industries à créer des gammes à peu près illimitées d'échantillons colorés, que l'on tente de distinguer souvent d'une manière bien imprécise, à l'aide de dénominations inspirées soit par la géographie (bleu de Prusse, blanc de Meudon, rouge de Venise, jaune de Naples, vert de Schweinfürth), soit par la chimie (blanc de zinc, bleu de cobalt, noir de goudron, noir de houille, jaune de chrome, rouge de cadmium, vert de chrome),

soit par la poésie (rose églantine, teuille morte, vert olive, vert réséda, bleu lavande, lilas, violet néliotrope, gris noisette, gris tourterelle), soit encore par la destination (dans le catalogue d'un fabricant de laques, qui présente d'ailleurs une gamme très complète de teintes fort belles, nous avons relevé les appellations suivantes: ivoire aviation, vert wagon, vert armé, gris Peugeot, gris ciment SNCF, mastic velo, vert d'eau Tecalémit, bleu cycle, rouge incendie, havane cartonnerie, marron radio).

On peut se demander la différence existant entre une couleur acajou et une couleur palissandre, étant donné que les acajous foncé et rouge ressemblent beaucoup à des palissandres clairs. De même, quelle différence faire entre la terre d'ombre brûlée et la terre de Sienne, entre le pourpre de Tyr et le pourpre de France, etc... Dans un rapport présenté à la Commission Générale de Normalisation des Peintures, M. Rabaté a donné une énumération des terres utilisées dans l'industrie des peintures, enduits et préparations assimilées, où nous avons relevé les terres suivantes: la terre verte (terre verte de Bohême, terre de Chypre, terre de Saxe, terre de Hesse, terre de Vérone, terre du Tyrol, terre serpentine, craie verte, céladonite, vert céladon, vert de Vérone, vert de pierre), la terre rouge (craie rouge, ocre rouge, rouge d'Anvers, rouge de Prusse, rouge de Nuremberg, rouge de Russie, terre rouge d'Almagra, bol rouge, sanguine, rouge de Pouzzoles), etc... Au cours de l'étude de la normalisation du bleu d'outremer, il a été signalé que, contrairement à une opinion courante, le mot « outremer » ne désignait pas nécessairement une variété de bleu, mais pouvait correspondre à d'autres couleurs; on pouvait ainsi trouver le l'outremer rouge ou de l'outremer vert.

6) *La normalisation doit s'adresser à tout le monde.* — Un individu quelconque, même illettré doit comprendre aisément, quelle que soit sa langue, les signaux de repérage ou de sécurité. C'est pourquoi l'emploi des inscriptions ne pouvait être envisagé, sauf à titre secondaire, à l'exception de certaines ayant un caractère international et assez simples comme quelques formules chimiques utilisées pour désigner certains gaz. Dans le cas général il a fallu recourir au *langage des couleurs*. Il faut donc que les couleurs de sécurité puissent être vues le mieux possible, en toute circonstance que l'observateur ait ou non une vue normale des couleurs. La première condition à remplir est qu'une étude attentive de la visibilité pour un observateur normal compte tenu de sa distance ait été faite: la brillance des couleurs, les rapports entre surfaces et couleurs du fond, du schéma, de la bordure, des inscriptions éventuelles de manière à réaliser les meilleurs contrastes. Ces derniers peuvent également être obtenus avec les couleurs de contraste normalisées: noir (pour le jaune orangé), blanc (pour le rouge et le vert). M. Lévy qui a participé à toutes ces études et en a fait lui-même de très intéressantes vous exposera la question avec sa compétence habituelle.

Pour ceux dont la vision des couleurs n'est pas normale, les daltoniens, on a songé à fixer des *formes géométriques* appropriées aux signaux colorés. Le daltonien peut ainsi percevoir la couleur telle qu'elle est d'une manière indirecte « à travers » la forme du signal.

Un pays avait estimé que les coefficients de réflexion retenus pour les différentes couleurs de sécurité devaient permettre une perception normale de la part des daltoniens. Mais cet argument n'avait qu'une valeur théorique; en effet, en pratique, d'une part ces coefficients ont des chances de ne pas être absolument respectés dans les installations lors de l'application de produits colorés (peintures par exem-

ple), d'autre part, comme ces produits vieillissent, leurs couleurs évoluent, et enfin l'éclairage varie.

Un autre pays avait pensé qu'un daltonien percevrait mieux un signal réalisé avec des couleurs de contraste (bandes ou damiers) qu'une forme alliée à une couleur de sécurité.

Finalement, après de nombreuses discussions, il fut reconnu que, lorsque les couleurs de sécurité sont appliquées sur des panneaux, les formes géométriques de ceux-ci ne sont nullement accessoires, mais doivent accompagner, au moins dans certains cas, les couleurs de sécurité pour faciliter leur identification. Il n'est naturellement pas question d'imposer que les couleurs soient toujours appliquées sur des panneaux d'une forme déterminée car, dans certains cas, cela n'est pas possible ou même cela est inutile. Mais si on adopte une forme géométrique il faut que ce soit celle normalisée et non une autre. En d'autres termes, une forme et une seule doit être associée à une couleur de sécurité; dans le cas contraire, on pourrait tromper l'observateur sur le sens de l'avertissement. Il vaut mieux ne pas donner de renseignement que de donner une indication fautive ou susceptible d'être faussement interprétée. Il a été décidé d'établir les relations suivantes:

Couleur	Forme géométrique associée
Rouge	Cercle
Jaune orangé	Triangle équilatéral sommet en haut
Vert	Rectangle

Enfin, il est avantageux de renseigner les usagers par exemple sur la nature d'un danger toutes les fois où cela est possible et utile. Pour les raisons déjà vues on a renoncé à ces indications sous une forme écrite; on a recherché des schémas aussi simples et évocateurs que possible pour qu'ils puissent être compris par n'importe qui même un illettré. Par exemple, le schéma adopté par l'Electricité de France pour indiquer le danger d'électrocution et qui représente un personnage trappé par la foudre et tombant à la renverse est particulièrement évocateur. Par contre le trèfle utilisé aux Etats-Unis pour désigner le danger de radiations nucléaires est aussi mal choisi que possible car parfaitement incompréhensible pour un non initié.

Le Comité ISO/TC 80 a décidé de se limiter à l'étude des schémas de nature très générale dont l'emploi à un certain caractère inter-professionnel. Les schémas particuliers à certaines professions seront laissés au soin des organismes spécialisés mais leur choix ne pourra que bénéficier des règles qui auront été dégagées à propos des schémas inter-professionnels.

Ensuite, il a fallu chercher si l'on schématiserait la nature du danger ou les conséquences possibles de l'existence de ce danger. En général, c'est le concept de la nature du danger qui a été choisi mais, comme on le verra ci-après dans la liste des concepts actuellement retenus il existe des exceptions à cette règle:

- matières inflammables,
- matières explosives,
- matières toxiques,
- matières corrosives,
- matières radioactives,
- électricité,
- charges suspendues,
- chutes d'objets,

- secours d'urgence,
- matériel de lutte contre l'incendie,
- moyens de protection individuelle,
- indication de direction,
- températures,
- objets aigus (coupants ou piquants),
- chutes de personnes.

CONCLUSION

Il ne suffit pas de définir des techniques recommandables il faut les appliquer. Dans ce but:

1. — Si l'on décide d'appliquer dans un secteur d'activité les couleurs notamment celles de sécurité ne pas le faire comme à regret et incomplètement car le désordre a toujours été générateur d'accidents. Il faut avoir la foi et la communiquer à ceux qui vous entourent.
2. — Ne pas croire que les couleurs de sécurité suppriment le risque (au début des travaux du Comité ISO/TC 80 certains délégués s'opposaient à la normalisation d'un code de couleurs en alléguant qu'il valait mieux s'occuper de supprimer le risque physique); elles ne remplaceront pas les moyens de protection dont doivent être normalement pourvus les engins dangereux; par exemple une machine-outil n'est pas dangereuse si le dispositif de protection est en place; au contraire, s'il n'y est pas le danger existe. C'est pourquoi l'intérieur du dispositif doit être peint en jaune orangé pour que la couleur soit visible quand il n'est pas en place.
3. — Se contenter d'une signalisation simple, la complexité inutile allant à l'encontre du but cherché.
4. — Etudier convenablement l'éclairage en se souvenant qu'une couleur n'existe pas sans lumière et change avec celle-ci.
5. — Combiner convenablement les couleurs d'ambiance, de signalisation et de sécurité de manière qu'elles remplissent chacune leur rôle sans se gêner et créent au contraire une harmonie agréable.
6. — Désigner dans l'entreprise une personne responsable de la surveillance des applications des couleurs. On voit trop souvent des panneaux de sécurité cachés par inadvertance, par saoullure ou pour toutes autres raisons...
7. — Se souvenir que les dispositifs de sécurité et les couleurs de sécurité et de signalisation doivent être entretenus. Ceux qui croient avoir satisfait à leur devoir en faisant, une fois pour toutes, le nécessaire et en s'en désintéressant par la suite, ont fait un mauvais travail. Pour les couleurs de sécurité, il faut fixer une durée maximum d'emploi de la couleur et un renouvellement automatique doit être prévu à son expiration.

ANNEXE I

Définitions des couleurs de sécurité en fonction de leurs coordonnées x et y dans le diagramme chromatique CIE et de leur facteur de luminance β

- a) Vert
 - $x > 0,526 - 0,683 y$
 - $x < 0,410 - 0,317 y$
 - $y > 0,282 + 0,396 x$
 - $y < 0,547 - 0,394 x$
 - $0,15 < \beta < 0,30$
- b) Rouge
 - $y < 0,290 + 0,080 x$
 - $y > 0,920 - x$
 - $y > 0,559 - 0,394 x$
 - $y > 0,316$
 - $0,07 < \beta < 0,15$
- c) Jaune orangé
 - $x > 0,048 - 0,827 y$
 - $x > 0,120 + 0,632 x$
 - $y > 0,887 - x$
 - $\beta > 0,45$

Toutefois il est apparu que pour le jaune orangé une seule limite inférieure du facteur de luminance ne devait pas suffire à assurer des couleurs satisfaisantes pour toutes les chromaticités admises. Il a été demandé à la CIE d'examiner s'il ne serait pas préférable d'adopter une formule telle que la suivante :

$$\beta > 0,50 + 2 (y - x)$$

ANNEXE II

DEFINITION SCIENTIFIQUE D'UNE COULEUR

A l'époque où un procédé unique permettait d'obtenir une couleur et lorsque le nombre des coloris était très réduit, on désignait la couleur par son mode de traitement ou par le nom de la matière première employée, ou encore par celui de la localité où on fabriquait cette couleur. Nous en avons vu plus haut des exemples.

Le progrès a permis d'obtenir une grande variété de méthodes de fabrication et une définition scientifique des couleurs, permettant une classification rationnelle, a été cherchée. Elle ne proscriira pas nécessairement certaines dénominations ayant acquis droit de cité, comme rouge cerise, jaune de chrome, bleu roi..., mais qui, malgré leur multiplicité et les qualificatifs pâle, vif, intense, foncé..., ne suffisent pas à caractériser, sans ambiguïté, toutes les couleurs discernées par l'œil. Il est cependant indispensable de leur substituer, ou tout au moins de leur associer, des valeurs numériques à déterminer.

Or, à chaque couleur du spectre, c'est-à-dire à chacune des radiations monochromatiques que sépare le prisme lorsqu'il disperse un faisceau de lumière ordinaire, correspond ce que les physiciens appellent une *longueur d'onde*, que l'étude des interférences lumineuses permet de mesurer. Ainsi, les longueurs d'onde du spectre visible varient entre 400 m μ pour le violet et 750 m μ pour le rouge, en passant par 470 m μ pour le bleu, 520 m μ pour le vert, etc...

La couleur d'un objet non lumineux par lui-même est définie par la lumière qu'il transmet, s'il est transparent, ou diffuse, s'il est opaque, lorsqu'il reçoit un faisceau lumineux, produit par une source déterminée. Par définition, cette lumière doit être blanche.

Or, la définition scientifique d'une lumière composée repose sur l'établissement d'une *courbe spectrale* obtenue en portant en abscisse la longueur d'onde et en ordonnée le flux d'énergie monochromatique de cette lumière. On peut tracer divers types de courbes spectrales dont les plus courantes sont la courbe spectrale de réflexion diffuse, la courbe spectrale de transmission, et la courbe spectrale d'absorption obtenues respectivement en portant en ordonnée le facteur de réflexion diffuse monochromatique (employé particulièrement lorsque le corps étudié est opaque), le facteur de transmission monochromatique (employé particulièrement lorsque le corps étudié est transparent) et le facteur d'absorption.

Une méthode de définition des couleurs a été donnée par le *cercle chromatique* de Chevreul, où la teinte est exprimée en fonction de deux radiations voisines. Les travaux de Chevreul et de l'Inter Society Color Council ont tenté d'allier les termes du langage courant à des données scientifiques, mais ceci ne se prête pas à des mesures physiques. En particulier, la complexité des échelles de teintes de Chevreul a amené des mécomptes lors de leur utilisation.

Méthode trichromatique.

La Commission Internationale de l'Eclairage a décidé en 1931 d'adopter comme système international la représentation spectrale des couleurs par leurs

coordonnées trichromes. La méthode trichromatique fait intervenir trois lumières de référence, dont le choix est en grande partie arbitraire :

rouge	longueur d'onde	700 m μ
verte	»	» 546 m μ
bleue violette	»	» 436 m μ

C'est le système dit « RGB » (Red, Green, Blue). Si un mélange de quantités convenables de ces lumières permet d'équilibrer pour l'œil la lumière étudiée, les trois quantités, mesurées en unités déterminées, caractérisent la couleur en question, l'équilibre n'étant possible que d'une seule façon. Ce sont les *composantes trichromatiques* de cette couleur. Il est à noter que les unités employées pour les lumières de référence ne sont pas les mêmes, en raison de la différence de sensibilité de l'œil à chacune d'elles.

Le plus souvent, les mesures n'étant faites qu'en valeur relative, on considère des nombres r, g, b, proportionnels à R, G, B, et de somme égale à l'unité qu'on appelle « *coordonnées trichromatiques* » de la couleur examinée. Lorsqu'on connaît deux quelconques de ces coordonnées, on est fixé sur la chromaticité et on y adjoint, s'il y a lieu, la brillance ou le facteur de brillance de la surface considérée.

Une propriété fondamentale est que les composantes trichromatiques d'un mélange de lumières colorées s'obtiennent en faisant la somme des composantes correspondantes des lumières mélangées.

Dans la méthode trichromatique, une couleur est représentée par un point convenablement placé par rapport à un triangle équilatéral dit « *triangles des couleurs* » ou, plus simplement, à deux axes rectangulaires. Dans le premier cas, r, g, b, sont les distances de ce point aux trois côtés du triangle, dont la hauteur est prise pour unité. Ces distances sont comptées positivement quand le point représentatif est à l'intérieur du triangle; l'une d'elles est négative quand il est à l'extérieur.

La Commission Internationale de l'Eclairage a, par une transformation convenable, défini des composantes trichromatiques X, Y, Z et des coordonnées trichromatiques proportionnelles x, y, z, de somme égale à l'unité, qui présentent certains avantages, notamment de n'être jamais négatives, ce qui facilite les calculs. Ce dernier système, dit *système X Y Z*, est le plus couramment utilisé. On peut figurer, dans ce système, les points représentatifs des trois radiations monochromatiques de base (sommets du triangle R G B), dont les coordonnées, dans le nouveau système, ont été déterminées. La représentation d'une couleur dans le système X Y Z se fait en déterminant les coordonnées trichromatiques à l'aide d'une part de sa courbe spectrale, d'autre part des *coefficients de distribution trichromatiques* dont les valeurs en fonction de la longueur d'onde ont été déterminées par la Commission Internationale de l'Eclairage et réunies dans des tables. On utilise les formules suivantes :

$$X = \frac{\sum x}{\sum x + \sum y + \sum z}$$

$$Y = \frac{\sum y}{\sum x + \sum y + \sum z}$$

$$Z = \frac{\sum z}{\sum x + \sum y + \sum z}$$

dans lesquelles $\sum x$, $\sum y$ et $\sum z$ sont respectivement des sommes de produits de la forme tex , tey , tez , dont chaque terme est déterminé pour des longueurs d'onde échelonnées, de 5 m μ en 5 m μ par exemple. Pour chacune de ces longueurs d'onde λ : t représente le facteur de transmission; x, y, z, les coefficients de

distribution; e est mesuré sur la courbe de rayonnement du corps noir.

Si l'on mélange deux lumières, le point représentant la lumière résultante est, en vertu de la loi d'addition, sur la droite joignant les points représentatifs des lumières composantes, sa position étant déterminée par une règle comparable à celle de composition des forces parallèles en mécanique.

Tous les points correspondant à des lumières réelles sont à l'intérieur de la surface limitée par la courbe Γ lieu des points représentatifs des diverses radiations monochromatiques, appelée *courbe des couleurs saturées*, et par la droite joignant ses extrémités qui est le *lieu des pourpres purs*.

Dans le système R G B, cette courbe est extérieure au triangle de référence et passe par ses sommets; dans le système X Y Z, cette courbe est intérieure au triangle de référence et ne passe pas par ses sommets. Dans les deux systèmes, le centre du triangle est le point représentatif de la lumière équiénergétique, pratiquement blanche.

Si l'on trace une droite passant par ce point, les lumières correspondant aux deux points d'intersection de cette droite avec la courbe Γ sont dites « *lumières complémentaires* ».

Système « *monochromatique plus blanc* ».

Ce système a davantage la faveur des praticiens car il définit une couleur (non pourpre) comme constituée par un mélange, dans une proportion déterminée, d'une lumière monochromatique convenable avec de la lumière blanche. Cet équilibrage n'est possible que d'une seule façon. La longueur d'onde de la lumière monochromatique est dite *longueur d'onde dominante* de la couleur étudiée. Elle correspond au maximum de la *courbe spectrale de clarté*. Celle-ci s'obtient en portant en abscisses les longueurs d'onde des diverses radiations monochromatiques et en ordonnées les facteurs de clarté correspondants évalués photométriquement. Ainsi, pour un corps neutre, cette courbe est une droite parallèle à l'axe des abscisses. Quant à la lumière blanche utilisée, c'est, en principe, celle du « *spectre d'égale énergie* ». Le rapport p des mesures photométriques de la lumière étudiée et de la monochromatique dominante est appelée « *facteur*

de pureté ». Il est toujours inférieur, ou au plus égal, à l'unité. Dans les schémas qui viennent d'être donnés, le lieu des points représentatifs pour lesquels p est égal à l'unité est la courbe des couleurs saturées. On peut tracer de même des courbes d'égale pureté, par exemple pour $p=0,8$, $p=0,4$, etc...

A ces deux caractéristiques (longueur d'onde dominante à laquelle est liée la notion courante de « *teinte* », et facteur de pureté auquel est liée la notion courante de « *saturation* »), il faut en ajouter une troisième qui est le facteur de clarté (facteur de transmission pour les corps transparents, facteur de réflexion diffuse pour les corps opaques). On pourrait donc pratiquement définir une couleur en superposant à l'appellation usuelle les trois caractéristiques qui viennent d'être elles-mêmes définies. On aurait ainsi une désignation à la fois pratique et scientifique de la couleur examinée. Toutefois, dans les définitions précédentes, ne rentrent pas les lumières pourpres. Pour les caractériser, on fait correspondre à chaque pourpre une radiation monochromatique complémentaire et une seule (longueur d'onde comprise entre $494 \text{ m}\mu$ et $570 \text{ m}\mu$), dont le mélange à la lumière initiale, en proportion convenable, reproduit d'une manière suffisante la lumière blanche de référence.

On peut passer de la désignation d'une couleur dans le système trichromatique à la désignation correspondante dans le système « *monochromatique plus blanc* » sans difficulté.

Nous avons vu qu'une lumière donnée est représentée par un point dans le triangle des couleurs. D'autre part, au centre de ce triangle, se trouve le point représentatif de la couleur blanche correspondant au spectre d'égale énergie et dont les coordonnées trichromatiques sont $x=y=z=0,333$. Joignons le point représentatif de la couleur étudiée au point représentatif du blanc et prolongeons cette droite jusqu'à sa rencontre avec la courbe Γ . La longueur d'onde correspondant au point d'intersection est la longueur d'onde dominante.

Le facteur de pureté est donné par le rapport de la distance du blanc au point représentatif de la lumière considérée à la distance du blanc au point d'intersection avec la courbe des couleurs saturées.

PROJET DE NORME, SUR LE PLAN NATIONAL D'ABORD, SUR LE PLAN EUROPÉEN ENSUITE, RELATIF AUX PIGMENTS « FINS » POUR ARTISTES

par M. Henri RABATE

Ingénieur-Conseil, Arbitre-expert
Vice-Président du C.I.C.

Au Moyen-Age, en Europe, les ateliers des artistes-peintres constituaient, dans quelque coin, une manière de laboratoire d'alchimie, dont toutes les productions étaient entourées du plus grand mystère. Ce n'est qu'à partir de la fin du XVIII^e siècle que put être envisagée, grâce aux progrès de la chimie, une étude rationnelle des constituants principaux (milieux de suspension et pigments) des préparations, dont les procédés d'élaboration étaient jusqu'alors jalousement gardés. On s'attacha à un examen approfondi des pigments minéraux, naturels et artificiels, qui figuraient déjà, depuis assez longtemps, sur les palettes des grands maîtres; on tenta d'accroître la richesse de celles-ci par l'adjonction de colorants organiques, extraits de certains types de bois importés, et, plus tard, de nouveaux pigments minéraux et de colorants extraits des goudrons de houille: les uns et les autres furent bientôt utilisés, d'ailleurs, à la fois en peinture d'art et en peinture de bâtiment.

Sous l'effet d'une heureuse émulation, des usines spécialisées virent le jour, qui s'attachèrent à la mise au point de pigments et de peintures dérivées, spécialement réservés aux travaux d'art, dans toutes les spécialités: pastels, pâtes pour l'aquarelle, peintures à la gouache, peintures-émulsions, peintures à l'huile.

Dans l'état actuel des choses, et compte tenu de la nature du milieu de suspension, on peut classer, comme suit, les divers types de préparations spéciales pour artistes:

- 1° peintures à l'huile,
- 2° préparations à milieu de suspension aqueux, comprenant:
 - a): « couleurs moites » en pastilles, pour l'aquarelle.
 - b): gouaches,
 - c): peintures-émulsions (a tempera), à base d'émulsions du type eau dans l'huile,
 - d): peintures au blanc d'œuf, pour réalisation de glacis.

**

Ces préparations spéciales pour artistes renferment, comme constituants solides, des pigments, des laques et des matières de charge.

Les pigments sont naturels ou artificiels, minéraux ou organo-métalliques ou organiques.

Les laques sont obtenues, essentiellement, à partir de dihydroxyanthraquinone (orange d'alizarine, carmin d'alizarine, cramoisi d'alizarine) et de rubia

tinctorium (rose garance clair, rose garance foncé, rose garance doré).

Les matières de charge, qui interviennent surtout dans la fabrication des pastels, comprennent, principalement: la craie, le kaolin, le sulfate de calcium naturel.

**

Depuis assez longtemps déjà, on a songé à limiter la palette des artistes, pour ne plus y faire figurer que des pigments et des laques, dont les caractéristiques essentielles, optiques et chimiques, assurent aux tableaux le maximum de longévité dans leur présentation initiale: les altérations des peintures d'art sont dues bien souvent, en effet, à des choix défectueux des constituants solides des préparations mises en jeu. C'est ainsi qu'aux Etats-Unis, l'American Artists' Professional League a proposé, en décembre 1932, de réduire, à 19 types de pigments et de laques, le total de 82 des constituants solides, qui figuraient alors dans les documents commerciaux, édités par les fabricants de peintures spéciales pour artistes-peintres.

Série S (où dominent les sulfures):

Blanc de zinc
Noir d'ivoire
Outremers (bleu, violet, rouge, vert)
Sulfures de cadmium (jaunes et orangés de cadmium)
Vermillon de mercure (sulfure de mercure)
Sulfo-séléniures de cadmium (rouges de cadmium)
Laque d'alizarine (?)

Série O (où dominent les oxydes):

Blanc de zinc
Noir d'ivoire
Bleu de cobalt (aluminat)
Vert de cobalt (zincate)
Vert émeraude (oxyde de chrome)
Terre verte (silicate de fer)
Jaune de baryum (chromate de baryum)
ou jaune de strontium (chromate de strontium)
ou jaune de zinc (chromate de zinc)
Ogres et terres (oxydes de fer et oxydes de fer hydratés)
Violet de cobalt (phosphate de cobalt).

On peut ajouter:

Blancs de titane « composés » (TiO_2 , SO_4Ca ou TiO_2 , SO_4Ba , avec blanc de zinc)
Pigments dits de Mars (jaune, orangé, brun, rouge et violet).

I. — *CONSTITUTION CHIMIQUE DES PIGMENTS « FINS » POUR ARTISTES.*

On pouvait lire, dans « Le Monde » du 21 avril 1950, sous le titre: « La Société des Experts Chimistes précise les conditions dans lesquelles a été ouverte l'information pour tromperie sur la qualité des couleurs livrées aux artistes peintres »:

« Nous avons annoncé, le 19 avril 1950, qu'une information avait été ouverte par M. de Chocqueuse, juge d'instruction au tribunal de la Seine, pour tromperie sur la qualité des couleurs livrées aux artistes peintres. La Société des experts chimistes de France précise, en ces termes, dans la lettre que nous adresse son président, M. D. Florentin, les raisons qui ont déterminé le parquet de la Seine à ouvrir cette instruction:

« A la séance de cette Société du 9 février 1949, j'ai présenté une courte note d'un de nos collègues, M. Fleuret, qui attirait notre attention sur la mauvaise qualité de certaines couleurs fines, vendues aux artistes peintres.

« Certains commerçants peu scrupuleux vendent, sous la dénomination de pigments minéraux, couteux, des laques organiques, peu stables à la lumière, d'où un danger pour les peintures contemporaines, faites avec ces couleurs.

« Après discussion, la société a émis le vœu suivant:

« La société des experts chimistes de France, considérant que le commerce des couleurs fines est l'occasion de tromperies importantes, émet le vœu que la direction du service de la répression des fraudes étudie, de concert avec les intéressés, une réglementation de ce commerce, de façon à réprimer les abus caractérisés, auxquels il donne lieu ».

« Depuis, le service de la répression des fraudes du département de la Seine a fait des prélèvements de couleurs, qui, analysées, se sont révélées non conformes à leur dénomination de vente, ce qui a déterminé le parquet du tribunal de la Seine à ouvrir une instruction contre X pour tromperie, en vertu de la loi du 1^{er} août 1905.

« Il est bien évident que la société des experts chimistes de France, qui est une société scientifique, n'était pas qualifiée pour déposer une plainte ».

Les analyses, auxquelles il est fait allusion, ont révélé, en particulier, que, sur onze pigments examinés, un seul présentait une composition conforme à la composition habituellement reconnue, cependant que les dix autres pigments, « ou renfermaient des produits organiques, ou accusaient des compositions différentes de celles qui sont généralement admises à leur endroit ».

C'est ainsi que des échantillons de bleu de coeruleum et de rouge de cadmium ne renfermaient, respectivement, ni stannate de cobalt, ni sélénium et sulfure de cadmium.

Encore convient-il, pour éviter toute équivoque, d'arrêter, nationalement ou internationalement, des normes de constitution chimique des pigments « fins » pour artistes, d'assez grosses et nombreuses divergences séparant, à ce sujet, les actuelles décisions des principaux producteurs intéressés: à titre d'exemples, les fabricants français et anglais visent respectivement,

sous les appellations vert émeraude et emerald green, de l'oxyde de chrome hydraté et de l'acétoarsénite de cuivre,

sous les appellations jaune de Naples et Naples yellow, de l'antimoniote de plomb et un mélange de céruse et de jaunes de cadmium et ou de pigments minéraux, naturels, jaunes (terres jaunes).

II. — *DENOMINATION DES PIGMENTS « FINS » POUR ARTISTES*

En fait, il est nécessaire de codifier, simultanément, des correspondances précises de constitution chimique, d'une part, d'appellation commerciale, d'autre part.

Or, il n'existe, aujourd'hui, qu'un nombre fort restreint de correspondances absolues entre des appellations usuelles, apparemment identiques, variables pourtant de langue à langue.

A titre d'exemples, le bleu de Prusse, le bleu de cobalt, le violet minéral, le jaune de Naples, sont respectivement dénommés sous l'une ou l'autre des variantes ci-dessous:

bleu de Prusse: bleu de Berlin, bleu de Hambourg, bleu de Paris, bleu de Chine, bleu de gaz, bleu acier, ... ;

bleu de cobalt: bleu saphir, bleu Thénard, bleu Leithner, bleu impérial, bleu d'Eschel, ... ;

violet minéral: violet de Nüremberg, violet de Leykauf, violet de Bourgogne, ... ;

jaune de Naples: jaune minéral, jaune d'antimoine, jaune Mérimée, ...

Ch. Coffignier écrivait, déjà, en 1913 (Le peintre et la chimie, Le Moniteur de la Peinture, 20 septembre 1913, p. 4):

« Le grand mal, celui dont la corporation des peintres souffre le plus, provient de cette habitude d'appliquer aux couleurs, principalement, des noms de fantaisie, sans aucun rapport avec le produit offert. Il s'est créé ainsi une nomenclature sans fin, où il n'est pas rare de rencontrer une même couleur sous une dizaine de noms différents ».

III. — *BUTS A ATTEINDRE, EN MATIERE DE NORMALISATION INTERNATIONALE, CONCERNANT LES PIGMENTS « FINS » POUR ARTISTES*

Les efforts de normalisation internationale, qui s'imposent indiscutablement, doivent porter ainsi, à la fois sur des considérations d'ordre technique (normalisation de formules de constitution chimique) et d'ordre linguistique (normalisation de vocables ou expressions, ne prêtant à aucune confusion).

Ils aboutiront assurément à une limitation du nombre des pigments, ceux-ci devant offrir une stable stabilité de couleur à la lumière, en particulier, ne saurait contraindre l'artiste à se passer, pour sa propre palette, d'assortiments de grandes richesses, lui permettant d'affirmer son individualité, sous toutes ses formes: la normalisation souhaitée, qui doit laisser toutes initiatives en matière de réalisation esthétique, ne vise aucunement à enfermer l'artiste dans des limites, relativement étroites, de consommation de pigments de couleurs déterminées, ce qui pourrait contrarier l'épanouissement de sa personnalité et de son talent et la qualité de ses réalisations; elle n'a pour but que de lui permettre, éventuellement, de choisir, judicieusement et en parfaite connaissance de cause, la qualité d'un ensemble essentiel des matières auxquelles il a recours, afin d'assurer, avec la pérennité de son œuvre, le prestige de son avenir.

APPLICATION D'UN COLORIMÈTRE TRICHROMATIQUE TRANSPORTABLE A L'ÉTUDE DES RAPPORTS LUMIÈRE-COULEURS

par M. BARTHES

Ingénieur Radioélectricien E.S.E.

Ingénieur au Service Technique de la Cie des Lampes

L'étude expérimentale des rapports lumière-couleur ne peut être entreprise que si l'on dispose d'un colorimètre trichromatique transportable et d'un maniement simple.

Notre but final étant l'examen approfondi de l'ambiance colorée d'un local, il peut être mis en doute par certains, que l'usage d'un appareil permettant seulement la mesure du point de couleur, c'est-à-dire des coordonnées trichromatiques x , y , d'une lumière, soit suffisant.

Nous estimons au contraire, que pour définir l'ambiance colorée, il suffit de connaître le point de couleur de la lumière atteignant le plan utile.

Bien entendu, ce dernier pourra être n'importe quelle surface du local.

Dans un musée, par exemple, c'est le point de couleur de la lumière atteignant un tableau déterminé, que nous devons prendre en considération.

Nous avons adopté ce point de vue pour deux raisons.

1. — L'allure générale des compositions spectrales des lumières, qu'elles soient naturelles ou artificielles, est généralement connue.

Le jeu des interréflexions sur les parois colorées d'un local, introduit un déséquilibre dans cette composition spectrale. Le déplacement du point de couleur suffit à nous indiquer le sens de ce déséquilibre.

2. — De plus, la couleur dite « d'apparence » de la lumière qui frappe une surface, a une grande influence sur la teinte de cette dernière.

En effet, toute surface présente, outre une réflexion diffuse, une réflexion spéculaire non négligeable.

Aucun revêtement n'est parfaitement mat.

La lumière réfléchie vers l'œil de l'observateur, sera donc composée d'un mélange de deux flux lumineux :

l'un réfléchi de façon diffuse par le revêtement coloré, donc de composition spectrale modifiée par la pigmentation, l'autre réfléchi spéculairement. Ce dernier aura généralement la couleur du flux direct reçu.

Il s'agit tout simplement des « reflets » que l'on distingue plus ou moins à la surface des corps.

Ces derniers peuvent fausser complètement la couleur d'un objet s'ils présentent une teinte dominante marquée.

Dans le cas contraire, ils « lavent » simplement plus ou moins la couleur de la surface observée.

La connaissance du point de couleur de la lumière incidente sur un objet, nous permettra de savoir s'il sera ou non mis en valeur, c'est-à-dire si sa couleur fondamentale ne sera pas détruite par les reflets qui apparaîtront à sa surface.

Pour ces deux raisons, la possibilité de mesurer le point de couleur des lumières nous paraît suffire à l'analyse de l'ambiance colorée.

Au cours d'une expérimentation précédente, dont nous avons présenté les résultats devant la deuxième section de la Sté Fse des Electriciens, nous avons été amenés à construire un colorimètre trichromatique de laboratoire.

L'appareil actuel est une extrapolation de ce dernier.

Nous tenions à lui donner les caractéristiques d'un luxmètre classique :

simplicité d'emploi et d'étalonnage

facilité de transport.

L'appareil comporte trois récepteurs qui peuvent être, par le jeu d'un commutateur, reliés successivement à un même microampèremètre.

Le premier récepteur qui donne la composante X de la lumière incidente, est constitué par une cellule à couche d'arrêt carrée munie d'un filtre rouge spécial en gélatine « Dufay Chromex ».

Le deuxième, qui donne la composante Y est également constitué par une cellule identique à la précédente, revêtue d'un filtre vert spécial « Dufay Chromex ».

Le troisième, enfin, qui donne une quantité proportionnelle à la composante Z , est réalisé au moyen de deux cellules montées en parallèle et recouvertes chacune par deux filtres, l'un bleu spécial de Defay-Chromex, l'autre en verre BG 23 de Schott.

Ce dernier a pour but de corriger l'excès de transmission dans les rouges du filtre en gélatine bleue de Dufay Chromex.

Les fonctions de distribution de ces ensembles récepteurs, ont été relevées par nous au spectrophotomètre.

Nous avons constaté expérimentalement et par le calcul, que l'étalonnage du colorimètre au moyen d'une lampe fluorescente « Lumière du Jour de Luxe » de coordonnées connues, restait valable pour toutes les lumières, avec une précision suffisante pour nous besoins.

Dans l'état actuel de l'appareil, si X_0 , Y_0 et Z_0 sont les lectures effectuées au microampèremètre, les coordonnées de la lumière à mesurer seront

$$x = \frac{X_0}{X_0 + Y_0 + 1,21 Z_0}$$

$$y = \frac{Y_0}{X_0 + Y_0 + 1,21 Z_0}$$

Notons que toutes les cellules sont revêtues d'une plaque de verre opalin dépoli sur ses deux faces pour éviter toute erreur due aux variations d'incidence de la lumière.

A l'aide de notre instrument, nous envisageons d'effectuer une étude statistique des ambiances colorées réellement, rencontrées en pratique en lumière naturelle et artificielle.

Lorsqu'un dossier suffisant aura été établi, nous

pourrons prédéterminer en toute certitude, le passage des conditions de jour aux conditions de nuit, ce qui n'implique pas nécessairement une identité entre les deux.

Actuellement, il existe, à notre connaissance, très peu de données sur la lumière naturelle en France.

Au cours de nos déplacements, nous avons à diverses époques et à diverses heures, relevé le point de couleur de la lumière naturelle à Paris, Lyon, Angers, Montpellier, Millau.

Les points de couleurs obtenus se répartissent autour d'une courbe moyenne d'ailleurs légèrement décalée par rapport au lieu des points de couleur du corps noir (figure 1).

Seuls les relevés effectués au mois d'août à Montpellier, paraissent nettement décalés vers les pourpres.

Toutefois, ces points relevés en terrain découvert, représentent la lumière résultante provenant de la quasi totalité de la voûte céleste et éventuellement du soleil.

Nous soupçonnions que de l'intérieur d'un local ayant vue seulement sur une fraction de la voûte céleste, les écarts devaient être plus importants.

L'expérience a confirmé ce point de vue.

La figure (2) montre, le long de la journée, la va-

riation à Paris du point de couleur de la lumière dans deux bureaux, l'un exposé au Nord, l'autre au Sud.

Dans ce dernier, les cellules du colorimètre ont été placées à l'ombre.

Les écarts constatés de 10 h à 18 h par une journée assez belle de Février, sont considérables. (Ciel clair partiellement nuageux avec soleil).

Nous pensons qu'il serait utile de multiplier les observations analogues aux nôtres, afin de constituer un catalogue des ambiances colorées rencontrées en France à l'intérieur des locaux en fonction de leur exposition.

Une telle étude est fondamentale pour les industries qui s'intéressent aux revêtements muraux (peintures, papiers peints, etc.).

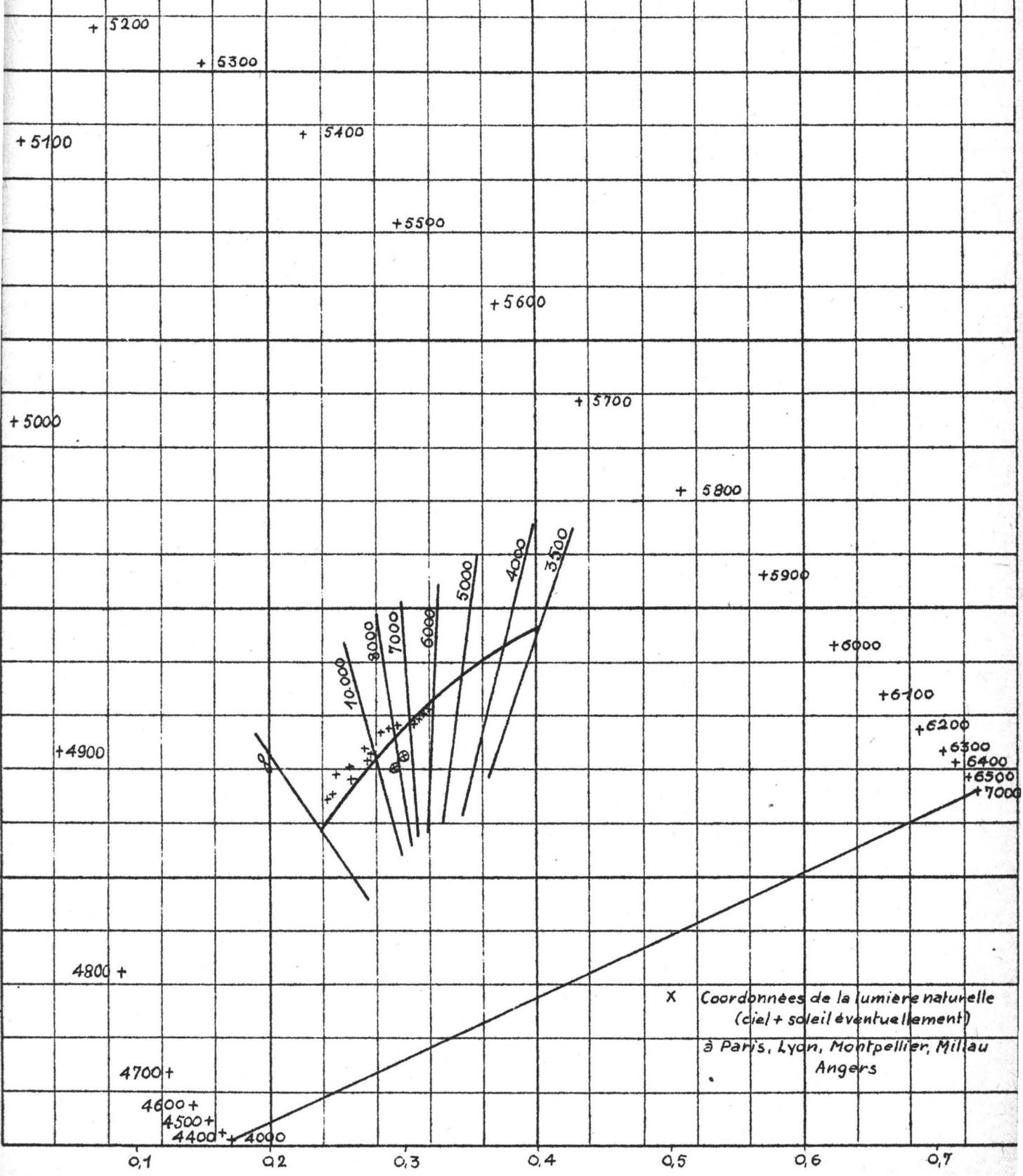
Elle serait utile aux éclairagistes pour adapter l'éclairage artificiel à l'ambiance recherchée par l'architecte ou le décorateur, qu'il s'agisse d'un éclairage complémentaire de jour, d'un éclairage de transition jour-nuit, ou d'un éclairage de nuit.

Notre appareil peut naturellement être utile dans de nombreux autres cas, par exemple il peut servir à mesurer la couleur d'un revêtement, en dirigeant vers celui-ci les cellules placées à 0,50 m environ.

Il peut également, en photographie en couleur permettre la recherche des dominantes.

COLORIMÈTRE TRICHROMATIQUE

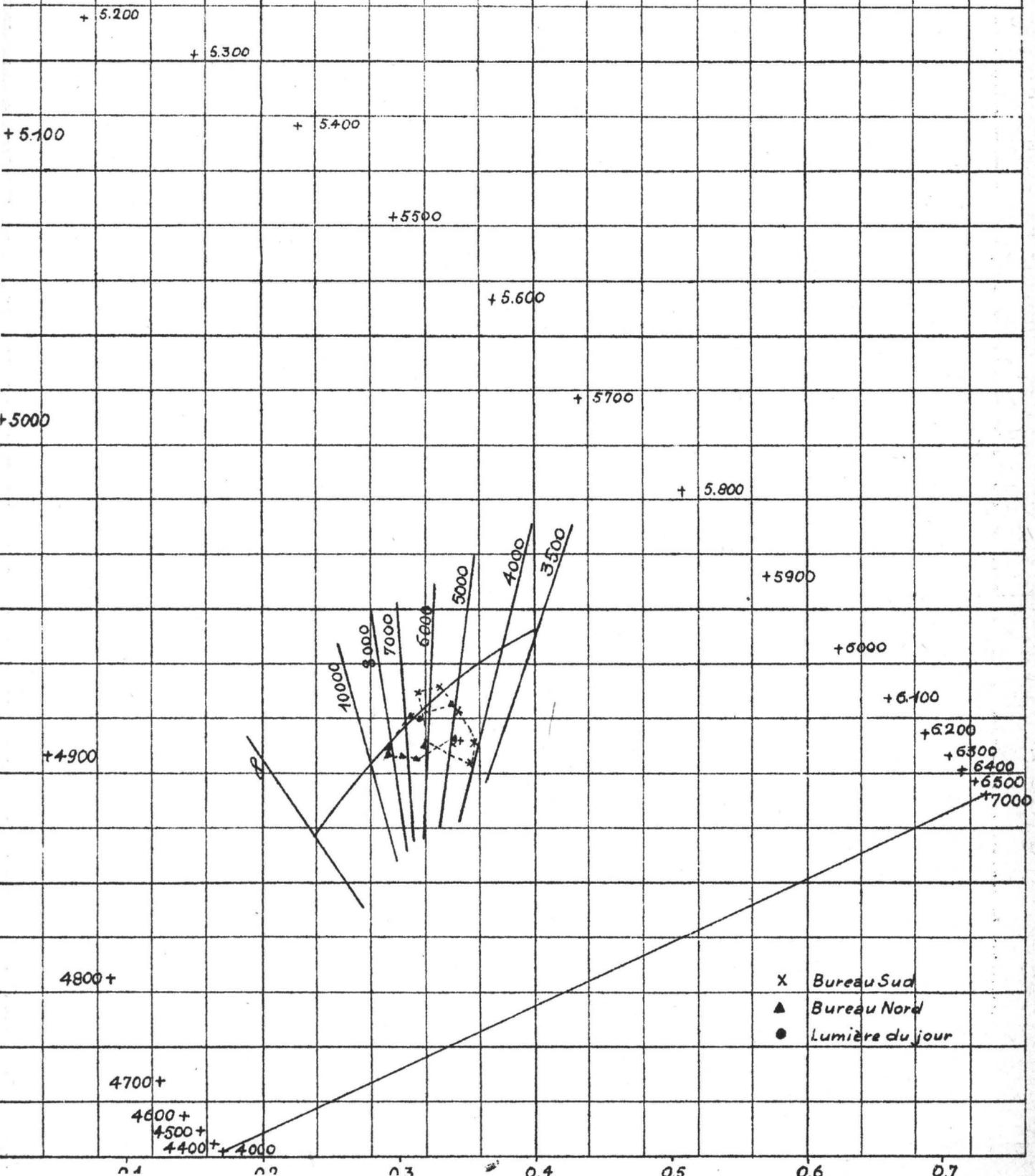
Triangle des couleurs C.I.E.



X Coordonnées de la lumière naturelle
(ciel + soleil éventuellement)
à Paris, Lyon, Montpellier, Millau
Angers

COLORIMÈTRE TRICHROMATIQUE

Triangle des couleurs C.I.E.



LA PSYCHOPHYSIOLOGIE DE LA COULEUR

par M. Ernest BAUMGARDT

Maître de Recherches au C.N.R.S.

La couleur est un concept physique qui décrit et peut spécifier certaines propriétés physiques des corps, relativement aux radiations visibles. Mais le mot « visible » montre que la couleur est aussi un concept physiologique et psychologique, car il se réfère à la Sensation.

Les aspects physique et psychophysique de la couleur sont si étroitement liés qu'on ne peut raisonner sans les considérer tous deux.

La Colorimétrie spécifique, à l'aide de trois nombres, la couleur des sources lumineuses et des matériaux transparents, translucides, diffuseurs. Le trichromatisme provient du fait d'expérience qu'à l'aide de trois sources monochromatiques on peut créer toute sensation visuelle désirée. Cette trivariance visuelle est basée sur des mécanismes physiologiques inscrits dans l'organe visuel. Il serait vain de vouloir trop entrer dans le détail à présent; on n'a pas encore découvert les trois types de récepteurs fondamentaux présumés être des cônes, et nous ne savons que fort peu sur les pigments photosensibles sélectifs dont ils seraient porteurs. Mais la trivariance est un fait expérimental bien fondé et on en tire la conclusion que quelque part, entre le lieu d'absorption des photons porteurs de l'énergie lumineuse et l'aire 19 du Cortex cérébral, lieu où arrivent les messages nerveux provoqués par cette absorption, un mécanisme trivariant est inséré.

Dans la vie de tous les jours, la couleur sert très souvent à attirer l'attention et à provoquer un choix. Lorsqu'un tel signal est destiné à provoquer une réaction déterminée des individus visés, il faut tenir compte de certains variables dont dépend la sensation minimum pouvant déclencher cette réaction.

Considérons une plage colorée, non lumineuse par elle-même insérée dans une ambiance quelconque. Si cette plage doit constituer un signal, il faut qu'elle contraste avec son entourage de manière à attirer l'attention.

Les variables à considérer dans ce cas sont tout particulièrement:

- 1) la composition spectrale et l'intensité de la source de lumière éclairant le champ visuel;
- 2) le contraste de couleur entre la plage et son entourage;
- 3) l'angle apparent sous lequel la plage est vue; cet angle dépend de la distance œil-plage et du diamètre de cette dernière.

Dans le cas où la plage est elle-même une source lumineuse, on notera:

- 1) la composition spectrale et l'intensité des sources lumineuses éclairant le champ visuel;

2 et 3) comme ci-dessus;

4) le cas échéant, la durée d'éclairage intermittent de la plage.

On remarquera que le point 2) n'est pas indépendant du point 1) et qu'il concerne une grandeur psychophysique. D'autre part, l'efficacité du signal est une fonction non-linéaire de sa durée, ce qui montre que le contraste psychophysique entre en jeu pour le point 4) également.

La couleur sous laquelle apparaît un objet dépend de son éclairage, chacun le sait. Il est moins connu que la couleur perçue dépend également du niveau d'éclairage. Si la bande du jaune dans le spectre solaire occupe une largeur considérable aux luminances élevées, elle se rétrécit beaucoup au bénéfice des nuances vertes et oranges lorsque le niveau baisse. Un phénomène semblable se produit dans le bleu, qui s'étend loin dans les radiations de courte longueur d'onde (violet) lorsque le niveau est élevé; aux faibles luminances, la bande du bleu perd beaucoup au bénéfice de l'extrémité violette du spectre.

Le contraste de couleur entre plage et entourage joue un rôle prépondérant lorsque la plage est une plage-signal. A la lumière du jour ou à la lumière incandescente, les contrastes maxima sont formés par des paires telles que rouge-vert bleu, ou jaune-bleu. Cela n'est pas nécessairement vrai pour certains éclairages, tels qu'au mercure ou, surtout, au sodium. Des essais préliminaires s'imposent dans ce cas.

L'angle minimum sous lequel un signal coloré doit apparaître pour être reconnu comme tel dépend essentiellement de trois facteurs, dans la mesure où l'on considère des personnes à vision des couleurs normale:

Localisation (vision centrale ou plus ou moins périphérique), niveau d'éclairage et contraste. Plus le contraste est élevé et plus le diamètre minimum de la plage peut être réduit; mais à un éclairage moindre ou à une localisation plus ou moins périphérique correspond un diamètre minimum accru. La structure nerveuse de la rétine s'oppose à la reconnaissance d'un contraste de couleur lorsque la plage considérée devient très petite.

Lorsque la source lumineuse signal est intermittente, la durée d'action est d'une grande importance pour la perception. Un éclairage intermittent, est, on le sait, très efficace, car il attire l'attention facilement, même lorsqu'il agit dans la partie périphérique du champ visuel. Notons que l'efficacité maximum en fonction de la durée de la phase d'éclairage se situe entre 50 ms et 80 ms. Cela signifie qu'un éclat de, disons, 65 ms de durée paraît plus clair

qu'un éclat de 100 ms ou de 200 ms de durée. On peut faire des économies d'énergie électrique tout en augmentant le rendement.

Ce qui précède, concerne les personnes à vision normale et spécialement à vision normale des couleurs. Or, la proportion des individus à acuité visuelle limitée ou à vision des couleurs anormale est assez élevée pour qu'on ne puisse pas se désintéresser d'eux, surtout quand le signal considéré présente un caractère d'alerte. C'est pourquoi il convient de calculer largement les dimensions des plages colo-

rées. Tout en évitant l'éblouissement par des sources lumineuses trop puissantes, ces dernières doivent pourtant fournir des contrastes facilement perceptibles non seulement pour le normal, mais aussi pour les environs 10 % de la population à acuité visuelle insuffisamment corrigée ou non corrigible, ou à vision des couleurs très anormale.

Il va sans dire que dans le cas où un signal doit être vu sous un éclairage variable, l'effet désiré doit pouvoir s'obtenir dans les conditions les plus défavorables (hiver, fin de journée, brume, etc.).

L'IMPORTANCE ESTHÉTIQUE DES RELATIONS MUTUELLES DES VARIABLES PSYCHO-PHYSIQUES DE LA COULEUR

par S. DUMAREST

Attachée au Centre National de la Recherche Scientifique

Le rôle biologique du plaisir et de la douleur dans la survie et la préservation de l'être vivant évolué s'exerce, non seulement au plus intime de son être organique et psychique, mais encore à l'occasion de ses moindres contacts avec un monde extérieur favorable ou hostile. Et il n'est certes pas indifférent à l'homme qu'un inconfort spécifique comme la faim ou la soif le pousse à satisfaire des fonctions vitales, qu'une euphorie générale (se répercutant sur son « moral ») témoigne du bon état anatomique et fonctionnel de ses organes ou qu'au contraire les malaises de la fièvre l'obligent à prendre conscience d'une invasion microbienne menaçant sa santé ou même sa vie; qu'une douleur cuisante, l'avertissant de façon péremptoire que l'intégrité de son épiderme est compromise, l'oblige à s'écarter rapidement d'un corps trop chaud, ou qu'au contraire une chaleur modérée réchauffant ses membres glacés lui paraisse temporairement le plus grand plaisir de la vie, la satisfaction indispensable sans laquelle aucune autre ne saurait être goûtée.

Il ne lui est pas indifférent non plus (et nos contemporains l'ignorent trop) que le surmenage visuel ou auditif d'éclairages colorés agressifs ou de hurlements sonores lui soit imposé jusqu'à la fatigue, avec des conséquences probables aussi graves qu'une usure précoce de son organisme ou des désordres psychiques sur lesquels les psychiatres attirent aujourd'hui notre attention.

Vous me reprocherez sans doute de vous entretenir de vérités de La Palisse. Et pourtant, pour évidente qu'elle soit (et peut-être parce que trop évidente), cette intervention inévitable de l'une ou l'autre des deux attitudes affectives opposées dans toutes les manifestations de la vie ne semble pas avoir été suffisamment méditée ou même étudiée dans ses conséquences proches ou lointaines: conséquences qui importent au plus haut point dans toute investigation psychologique ou esthétique.

C'est qu'en effet la perception humaine, mode privilégié d'appréhension d'un milieu ambiant bienfaisant ou nuisible, est nécessairement affectée d'un agrément ou d'un désagrément plus ou moins élémentaire (donc plus ou moins inconscient *mais non sans conséquence*) selon que les exigences fonctionnelles de l'organe sensoriel, conditionnant la qualité de la réception corticale, seront satisfaites ou non par les propriétés formelles du stimulus.

Or, l'œuvre plastique colorée est objet de vision. De plus, elle repose sur le choix des moyens formels employés par l'artiste, à savoir la ligne et la couleur organisées en figures, juxtaposant des formes colorées dont les équilibres mutuels globaux constituent à proprement parler le problème de l'œuvre d'art.

Il est donc licite de supposer que cette manifestation esthétique rudimentaire de l'agrément (ou du désagrément) sensoriel, mêlé immédiatement et spontanément à la perception, joue un rôle non négligeable comme facteur affectif élémentaire, humble sans doute mais fondamental, intégré dans l'émotion esthétique complexe que tout individu sensible ressent à la vue d'une œuvre d'art digne de ce nom.

Ces simples remarques pourraient suffire, dans toute recherche d'esthétique chromatique orientée, comme il se doit, vers l'étude formelle d'œuvres d'art, à légitimer le recours préalable à des tests préférentiels statistiques sur couleurs étalonnées isolées ou associées dans des circonstances élémentaires soigneusement précisées, afin d'établir, en fonction des relations réciproques des trois sensations fondamentales structurant la perception couleur, les conditions objectives de confort visuel gouvernant la préférence; confort considéré d'après ce qui précède comme la base nécessaire de l'agrément sensoriel.

Mais il se trouve que par surcroît cette manière de voir a reçu ces dernières années d'importantes justifications expérimentales. En effet les résultats de diverses recherches statistiques (celles d'Eysenck, Crane, Parry, Granger en particulier) montrent une corrélation positive entre les préférences pour des lots très divers de stimuli (couleurs, formes linéaires, objets esthétiques plus ou moins complexes); tandis que les expériences des psychologues gestaltistes laissent supposer que « les mêmes principes... (motivant) l'appréciation esthétique interviennent également dans la détermination de la *Good Gestalt*. En conséquence — ajoute Eysenck — nous devons conclure que le lien entre les deux (la perception et l'appréciation esthétique) est vraiment très étroit » (1).

Or, toutes les investigations poursuivies ces dernières années dans le domaine qui nous occupe par les auteurs énumérés ci-dessus (auxquels il convient d'ajouter les noms de Moon et Spencer, Thomas, Adam, Braun) concluent à l'importance des propriétés formelles relatives (tonalité, luminosité, saturation) des stimuli colorés, qui se placent au premier rang des motivations gouvernant la préférence.

C'est également la conclusion générale du travail expérimental qui motive les observations dont je voudrais vous faire part. Ce travail est en cours sur trois plans: test préférentiel au niveau psycho-physique de la couleur en soi, dont les grandes lignes viennent d'être indiquées; test préférentiel de niveau plus élaboré sur ensembles formels simples associant lignes et couleurs; et enfin essai d'analyse formelle d'œuvres d'art.

Les expériences mettant en jeu les seules variables sensorielles de la couleur (tonalité, luminosité, saturation) ont été conduites sensiblement comme celles des autres auteurs. Il s'agissait de couleurs pigmentaires DUCO mates, fixées sur supports rectangulaires de même forme et de même surface, examinées isolées ou appariées par juxtaposition sur fonds alternativement noir, gris, blanc et sous éclairage standardisé (illuminant C) par un public fort divers comportant même des daltoniens dont l'anomalie était diagnostiquée. La seule différence notable résidait dans le choix du matériel coloré de référence: alors que les auteurs allemands et anglo-saxons ont utilisé

(1). Voir: G. W. GRANGER: Récentes expériences d'esthétique visuelle. *Rev. Esth.*, IX, 1, Janvier-Mars 1956, pp. 10-45.

des couleurs étalonnées psychologiquement (couleurs Ostwald ou Munsell) les couleurs utilisées ici ont été étalonnées optiquement (courbe de répartition spectrale, facteur de réflexion diffuse relativement au CO^3Mg etc...). Il faut signaler aussi l'étude très attentive des rapports de surface réalisés par les sujets sur les paires de couleurs, étude faite d'un point de vue purement formel qui ne semble pas avoir éveillé le même intérêt chez les autres chercheurs.

Les premiers résultats de ce test concordent avec ceux des auteurs cités. Comme eux, ils établissent l'importance primordiale sur la préférence des données formelles (autrement dit des équilibres mutuels de tonalité, luminosité, saturation) qui se montrent largement indépendantes des facteurs subjectifs.

Le degré de cette indépendance paraît croître avec le nombre de plages colorées juxtaposées; et inversement. Ainsi la préférence pour une plage colorée isolée vue sur fond achromatique se montre affectée d'un certain arbitraire par suite de l'intervention non négligeable de ces facteurs subjectifs. Encore faut-il constater, ici encore, la « tyrannie » des circonstances objectives du test, car l'étude des préférences pour les couleurs dites « isolées » montre clairement l'importance prééminente du fond achromatique sur lequel est examinée la couleur. Ceci à la grande surprise de l'observateur, explicitée maintes fois: « C'est curieux, disait-il en substance, je l'aime pourtant bien, cette couleur, mais sur ce fond elle ne va pas ».

Mais comment se manifestent les influences subjectives? Sur quels aspects de la couleur s'exercent-elles?

La tonalité semble la variable sensorielle dont l'appréciation est la plus dépendante de facteurs subjectifs relativement permanents, et en particulier du tempérament; alors que la saturation préférentielle semble conditionnée surtout par des facteurs psychologiques temporaires tels que l'âge et l'état de santé. L'influence d'un mauvais état général est particulièrement remarquable: une saturation élevée est insupportable aux yeux d'un individu physiquement affaibli, comme le montrent les commentaires et le comportement de certains sujets qui se disaient fatigués... et parfois l'ont prouvé, hélas! par une maladie grave survenue 2 ou 3 mois après le test. C'est aussi un fait d'observation courante. Je connais une personne qui, affaiblie par une hémorragie, ne put supporter la vue de fleurs rouges; et une autre qui, s'éveillant après une opération, fut frappée (le terme n'est pas trop fort) par la couleur verte d'une feuille de salade qui lui parut d'une intensité extraordinaire!

On le voit, il ne s'agit que de facteurs psychosomatiques de groupe; les motivations proprement psychologiques, forcément plus individualisées, n'interviennent généralement pas à ce niveau élémentaire sinon peut-être chez des sujets mal équilibrés. Mais il faut noter que les sujets peuvent être rangés en deux groupes d'après leur attitude habituelle, constante face au message sensoriel: confiance chez les uns qui se déterminent rapidement et nettement pour ou contre les paires de couleurs examinées; défiance chez les autres qui hésitent et ne se prononcent qu'après référence à des impératifs psycho-sociaux. Les rapports de surfaces effectués par ces derniers sont heureusement beaucoup plus probants que leur appréciation orale, et généralement identiques à ceux effectués par l'autre groupe. Ces deux attitudes opposées seraient peut-être en rapport avec les deux « pôles » psychologiques envisagés par Jung, et il est permis de penser qu'un test aussi simple mais convenablement adapté serait susceptible de déceler extraversion ou introversion.

Pourtant — et c'est là le fait capital — les moti-

vations psycho-somatiques de la préférence s'effacent pratiquement devant la prépondérance absolue des données formelles, comme le prouve la régularité statistique des choix préférentiels d'un public fort divers à tous les points de vue: choix qui se portent en masse sur les mêmes couples colorés pour les approuver (à tout le moins comme « équilibrés ») ou les condamner; ceci en dépit des préférences individuelles affirmées par ailleurs pour certaines tonalités ou combinaisons de tonalités.

Cette « objectivité des préférences de couleur » (le mot est dû Dr Granger) postule au moins un facteur d'équilibre indépendant des caractères psychosomatiques. Ce facteur d'équilibre chromatique, les observations expérimentales suggèrent qu'il est fonction de la variable physique conditionnant la sensation de luminosité de la couleur. En d'autres termes, les rapports réciproques de luminance de deux couleurs associées à surfaces égales entre elles et avec le fond devraient être tenus pour responsables de l'accord général constaté pour ou contre une paire de couleurs comme d'ailleurs des rapports de surface réalisés dont la seule conséquence objective est une nouvelle valeur du rapport des flux lumineux.

Quant aux valeurs privilégiées de ce rapport, tout porte à croire qu'elles sont fonction décroissante du contraste de tonalité et du contraste de saturation. C'est ainsi que, dans le cas de tonalités toutes deux saturées situées aux deux extrémités du spectre, le rapport des luminances paraît devoir être faible pour permettre leur association harmonieuse; alors que deux tonalités saturées très voisines quelles qu'elles soient, ne pourraient être juxtaposées sans inconvénient qu'à des niveaux lumineux très différents. De même, une couleur très saturée vue sur un fond achromatique serait d'autant mieux jugée que la valeur du rapport des luminances couleur-fond est plus proche de l'unité; plus la couleur est désaturée, plus les niveaux lumineux devraient être différents. Cette interprétation est étayée par les faits suivants constatés par le Dr Granger: dans le cas de deux couleurs de même luminosité, la préférence croît avec l'intervalle des tonalités; alors qu'une couleur placée sur fond achromatique est favorisée par la réduction du contraste de luminosité couleur-champ.

Quant aux valeurs précises de ces rapports de luminance favorables des couleurs entre elles et avec le fond, elles n'ont pu encore être déterminées par suite de l'interaction mutuelle des trois variables sensorielles dans le matériel coloré utilisé. Mais si l'on compare les résultats de tests complémentaires effectués ou en cours sur cartes grises et sur plages inégalement éclairées (donc sur ensembles achromatiques de pureté sensiblement nulle) aux résultats obtenus avec le matériel coloré, résultats dont les plus intéressants paraissent être les rapports de surface réalisés qui semblent fonction des couleurs en présence et du fond, il est permis de supposer que ces valeurs sont toujours discrètes, (« quantifiées » au sens courant du terme), qu'elles sont liées entre elles de manière mathématiquement définie, et aussi qu'elles dépendent du niveau lumineux: tout se passe en effet comme s'il existait des limites inférieure et supérieure au-delà desquelles le flux lumineux global, trop faible ou trop fort, serait cause de désagrément visuel.

Je ne nie pas, bien entendu, qu'il existe du point de vue purement formel des contrastes privilégiés de tonalités, autrement dit des intervalles favorables de longueur d'onde dominante (caractérisés probablement par la pluralité des rapports de luminance réalisant l'harmonie); et inversement. Je remarque seulement l'importance des motivations subjectives

dans les cas où des relations formelles défectueuses donnent à la tonalité un rôle prioritaire dans l'appréciation. Les couples controversés par l'ensemble des sujets sont une preuve de l'opposition des deux ordres de motivations comme de l'arbitraire des préférences de tonalité.

Quoi qu'il en soit, l'expérience suggère que cet arbitraire subjectif de la préférence, non négligeable dans le cas de la couleur isolée jugée sur fond achromatique, encore décelable dans celui de 2 couleurs juxtaposées sur fond achromatique, décroît rapidement avec la multiplication des couleurs jusqu'à être pratiquement annihilé pour des ensembles chromatiques complexes mettant en jeu un grand nombre de relations formelles.

En d'autres termes, *les qualités individuelles des couleurs associées s'effacent devant l'excellence de leurs relations formelles dans toute harmonie colorée complexe*. C'est sans doute à cette loi, connue empiriquement depuis toujours par les artistes, que Delacroix faisait allusion dans la boutade fameuse: « Donnez-moi de la boue et j'en ferai la chair d'une Vénus! ».

En particulier, toutes les couleurs, même saturées, pourraient être associées harmonieusement à *saturation égale*.

En vertu de ce qui précède, la désaturation de l'une des couleurs pourra intervenir, avec apparition d'au moins un contraste important de saturation, dans tous les cas où le contraste de luminosité ne sera pas adéquat; mais elle ne représente à mes yeux qu'une solution secondaire, solution de compromis, et elle est loin, semble-t-il, d'avoir l'importance esthétique qu'on lui a souvent attribuée.

D'ailleurs, le fait que les peintres ont généralement désaturé leurs couleurs vers le noir ou vers le blanc, modifiant ainsi plus ou moins leur nuance et *très fortement leur luminosité*, me paraît une preuve supplémentaire que les contrastes de saturation ainsi obtenus n'étaient pas, il s'en faut, les principaux responsables de l'harmonie obtenue.

J'ai dit précédemment que les propriétés individuelles des couleurs cèdent le pas dans tout ensemble chromatique équilibré à leurs relations mutuelles. Que se passe-t-il donc dans le cas contraire?

Ici encore, les faits expérimentaux nous apportent une réponse. Dans les couples colorés mal jugés (condamnés ou controversés par l'ensemble du public) les couleurs, au dire des sujets, se montraient agressives, fatigantes ou « plates », elles « se faisaient virer » mutuellement avec changement de leur nuance, et leur saturation apparente se modifiait dans un sens opposé selon que le rapport de luminance était très élevé ou très faible: dans le premier cas, elles étaient dites *dures* ou *agressives*, dans le second *ternes*, *grisées*, *salies*. — Il faut signaler ici l'identité des termes employés par les sujets dans les tests, pourtant fort différents, sur couleurs saturées et sur plages achromatiques. Ainsi un fort contraste de tonalité entre couleurs saturées comme un fort contraste de luminosité pure ont été jugés *durs*, et le terme de *sale* a été employé indifféremment pour des cartes colorées, des cartes grises et des plages d'éclaircissement variable *dans des cas où le rapport de luminance était très faible*.

En résumé, l'harmonie chromatique vraie (ce terme est employé ici dans son sens étymologique d'*ajustement*) apparaîtrait comme un ensemble coloré homogène, cohérent, obtenu par des relations d'interdépendance bien définies entre les diverses propriétés des éléments composants qui se comportent comme les parties d'un tout subordonnées fonctionnellement à l'unité du tout au point que leurs pro-

priétés individuelles deviennent secondaires. Au contraire; un mauvais équilibre chromatique se traduit par une hétérogénéité, une anarchie, une lutte des couleurs entre elles, chacune d'elles nuisant à l'autre, la faisant « crier »... ou « gueuler » ou la « tuant » (ce sont les expressions mêmes usitées par les sujets) avec des modifications d'aspect se résolvant en une impression d'équivoque pénible et même fatigante.

Or, tous ceux d'entre vous qui connaissent les développements actuels de la Gestalt théorie n'ont pu qu'être frappés par les analogies étroites des résultats mentionnés par les expérimentalistes partisans de cette théorie avec ceux qui viennent d'être exposés. L'importance des données formelles, l'existence de structures privilégiées de caractère unitaire, fondées sur des variables bien articulées, auxquelles la perception applaudit lorsqu'elles les trouve préétablies ou cherche à parvenir dans le cas contraire, sont autant de constatations communes au cas de la figure linéaire et à celui de la « figure chromatique ». Le « virage » apparent des couleurs mal équilibrées ne peut-il être homologué aux transformations d'aspect d'une figure linéaire équivoque?

— ★ —

Mais, direz-vous, en quoi tout cela s'applique-t-il à l'œuvre d'art picturale? Je vais essayer d'y répondre. Mais auparavant je voudrais dire deux mots d'une objection que font souvent les artistes, celle de *l'état de surface*, qui, disent-ils avec raison, intervient dans l'harmonie colorée. Elle intervient en effet, mais non pour les motifs qu'ils supposent car elle n'agit pas directement *mais secondairement en vertu des lois de l'émission lumineuse*. Si l'on songe que la réflexion lumineuse globale, la réflexion vitreuse et enfin la réflexion sélective, qui altère la courbe de répartition spectrale d'une couleur pigmentaire, varient simultanément avec la nature de la surface réfléchissante, alors il n'est pas difficile d'admettre l'influence de l'état de surface; mais il faut reconnaître qu'elle se réduit à un problème d'optique physique.

Le fait est qu'une tonalité donnée est favorisée par un certain état de surface, (pensons aux velours, aux émaux, aux laques) et désavantagée par un autre selon la nuance qu'elle prend; et ceci illustre à la fois l'importance de la longueur d'onde dominante et celle de la composition spectrale sur l'aspect et la qualité affective de la couleur. Espérons que des résultats précis d'Esthétique chromatique parviendront à rendre compte de ce fait et à *déceler du même coup* les conditions d'agrément d'une couleur isolée.

Cette question de l'état de surface nous a introduits, non seulement aux arts dits « mineurs » (tissus, tapis, revêtements divers) mais au seuil du « grand art » où son importance se manifeste de façon péremptoire, conjuguée avec celle de la forme linéaire.

A ce niveau élevé de complexité formelle, les résultats obtenus sur le plan — bien humble — de la psycho-physique chromatique peuvent-ils trouver une application?

Je pressens les protestations des peintres, car je sais comme eux l'insuffisance de l'agrément visuel comme critère esthétique. Je suis bien obligée, comme tout le monde, de reconnaître l'indéniable médiocrité de certaines peintures offrant un réel agrément visuel par les harmonies colorées qu'elles réalisent, et au contraire la beauté réputée et ressentie d'œuvres qui sont très loin de réaliser de beaux équilibres chromatiques.

Cette contradiction apparemment flagrante entre l'observance (ou l'inobservance) des lois de l'agrément sensoriel et la qualité esthétique, ce *paradoxe de*

la peinture, il semble que des faits d'observation courante et d'expérience (apportés précisément par le test si longuement commenté ici) puissent nous en donner la clef. Ce sont ce que j'appelle les résonances psychiques de l'agrément ou du désagrément sensoriel.

Nous connaissons tous ce malaise psychologique (tristesse ou dépression) qui nous saisit au crépuscule, alors que le fonctionnement diurne de l'œil fait place progressivement au fonctionnement nocturne; cette période de « relais », incontestablement désagréable, donne une impression pénible d'équivoque très bien traduite dans l'expression populaire « entre chien et loup ». — Nous connaissons aussi ce malaise intellectuel résultant de la difficulté à saisir l'intelligence d'un texte mal éclairé ou imprimé de caractères sans netteté ou partiellement effacés. Rappelons aussi l'influence certaine sur « le mental », évoquée au début de cet entretien, des éclairages colorés forcenés et des rugissements sonores qui vous accueillent au seuil des grands magasins et de certains cafés.

Or, les commentaires des sujets qui ont participé au test sont aussi révélateurs de résonances psychiques gouvernées apparemment par la même loi de correspondance. C'est ainsi que la qualité affective des évocations, applications, références psychosociales de toute sorte suggérées aux sujets par la vision d'un couple coloré est liée directement à l'agrément ou au désagrément ressenti à sa vue; elles sont presque régulièrement laudatives dans le premier cas, péjoratives dans le second. Ainsi s'expliquerait la genèse de ces symbolismes élémentaires linéaires et chromatiques dont on ne peut douter (symbolismes d'une forme graphique, d'une couleur ou d'un contraste) et il est permis de penser que *ce sont précisément ces symbolismes qui, associés entre eux, légitiment l'observance ou l'observance des lois formelles ordonnée à la signification globale du thème du tableau*. Là résiderait le pouvoir esthétique de l'œuvre d'art, cette espèce de charme qui envoûte le spectateur sensible à tel point qu'il ne peut s'arracher à la contemplation d'un chef-d'œuvre.

Mais il me faut m'expliquer à l'aide de quelques exemples, en d'autres termes invoquer le témoignage de quelques Maîtres choisis au hasard parmi les plus grands.

S'il nous est donné de contempler la Procession des Vierges Sages de Ravenne, l'Annonciation ou le Couronnement de la Vierge de l'Angelico, le Rétable de l'Agneau Mystique des frères Van Eyck, notre œil est littéralement caressé par une symphonie miraculeuse de couleurs souvent saturées, disposées par grandes plages, cernées de lignes précises, et pourtant si harmonieuses! Outre cela — et à cause de cela — notre esprit est subiugué par la sérénité statique des lignes, l'allégresse des couleurs, la paix et l'unité de l'harmonie parfaite, la suavité rendue par la douceur de certains contrastes (Frise de Ravenne. Annonciations de l'Angelico) — Bref, nous sommes en Paradis par la magie des moyens formels... et c'est bien ce que nos artistes voulaient.

Quant à Rembrandt, son génie n'a pas dédaigné ce qu'on appelle, avec une nuance de mépris, les « effets faciles »: faciles parce que toujours efficaces et toujours efficaces parce que fondés sur des symbolismes qui imprègnent vraiment notre âme. Combien de fois, par exemple, a-t-il fait apparaître le drame par l'usage d'oppositions violentes d'évaluations, c'est-à-dire, en notre langage, des rapports élevés de luminance (presque pure)!

Dans *l'Homme au Casque* l'effet est plus puissant encore. Ici l'artiste semble avoir associé simultanément net contraste de luminosité et un très fort contraste de saturation; il y a lutte entre le visage d'un gris bistré, dur et triste, et le casque doré, éclatant, triomphant. *Du point de vue purement formel*, c'est mauvais car le visage, bien que très dessiné, est difficilement lisible: on ne voit presque que le casque. Mais c'est sans aucun doute à cet excès formel qu'est due la beauté de l'œuvre. Car cet homme au visage assombri par le voisinage du casque belliqueux, il n'est pas pour nous le frère de l'artiste, il est l'homme de guerre, le reître anonyme accoutumé à toutes les duretés de la vie, celui qui doit tuer pour n'être pas tué et auquel la mort est familière. C'est un véritable *type plastique* que Rembrandt a créé là, comparable à Tartuffe ou à don Juan en littérature. Et cette stylisation géniale me paraît être l'essentiel de ce chef-d'œuvre saisissant.

Je ne voudrais pas laisser votre patience en multipliant les exemples. Je ne ferai pas appel à d'autres artistes flamands, italiens, espagnols anciens ou modernes, ni à ceux de l'antique Egypte ou de l'Extrême Orient (je le pourrais car les chefs-d'œuvre de tous les temps et de tous les pays reposent sur des constantes humaines qui les rendent accessibles à tous les hommes). Je n'insisterais pas sur le cas du malheureux Van Gogh, cette âme en chaos qui se livre à nous dans son œuvre grâce à la puissance agressive des couleurs et des formes associées, ni sur celui des Saltimbanques de Picasso où pourtant les symbolismes formels sont patents.

Mais comment ne pas évoquer ici avant de conclure le descendant des Comtes de Toulouse, le génial et malheureux Henri de Toulouse-Lautrec et ses magnifiques infractions aux lois de l'harmonie colorée? Je veux parler de la part la plus importante et la mieux connue de son œuvre, qu'il faut distinguer nettement d'autres peintures (tel l'émouvant *Portrait de sa mère* du Musée d'Albi) où une atmosphère affective totalement différente est suggérée plastiquement par des relations formelles tout aussi diamétralement opposées à celles qui se sont présentées d'abord à ma mémoire: ces multiples et célèbres compositions de Lautrec consacrées au music-hall, au cirque et à d'autres lieux plus équivoques, auxquelles une palette de couleurs alternativement ternes et criardes engendrant des contrastes tantôt « plats », tantôt durs jusqu'à l'agressivité, confère bien souvent le caractère de véritables « caricatures chromatiques » du monde réel s'associant à un dessin également caricatural. En les contemplant, et toujours par la magie des moyens formels, c'est en enfer que nous sommes introduits; l'enfer intérieur de l'artiste dont la hargne douloureuse de solitaire et d'infirme s'exprime dans cet univers morne des lieux de plaisir dont il a exagéré sans ménagement la vulgarité triste. Cette fois c'est le désespoir quotidien qui est magnifié, au point de serrer le cœur et de communiquer l'angoisse... et, là encore, le but secret de l'artiste est atteint.

Concluons simplement que la validité des lois formelles d'harmonie colorée est démontrée aussi bien lorsqu'elles sont bafouées que lorsqu'elles sont appliquées. Car enfin si elles n'existaient pas, si la jouissance esthétique était entièrement subjective, comme le voudraient certains, nous n'aurions pas ce pouvoir d'incantation, d'envoûtement des moyens formels par les symbolismes qu'ils concrétisent, ce pouvoir qui est proprement le miracle de l'art et l'apanage exclusif des seuls chefs-d'œuvre.

POLYCHROMIE ARCHITECTURALE RÉALISÉE PAR PEINTURES EN TRAVAUX D'EXTÉRIEUR ET D'INTÉRIEUR

par J.-L. RABATE

Ingénieur E. C. P.

*Secrétaire de Rédaction des Revues Peintures
Pigments-Vernis & Travaux de Peinture*

INTRODUCTION

La polychromie architecturale, technique de coloration des divers éléments d'un édifice, suscite, à l'heure actuelle, un indéniable intérêt dans les milieux du Bâtiment et de l'Industrie. C'est un fait que plusieurs organismes professionnels, Instituts Techniques, Centre de Documentation, Revues Professionnelles du Bâtiment et, naturellement, le Centre d'Information de la Couleur ont contribué à la diffusion, auprès des architectes et maîtres d'œuvre et auprès des industriels, d'informations sur les perfectionnements apportés à la fabrication et à l'application des peintures: les peintures représentent certainement, de même que dans le domaine de la protection contre la corrosion, des matériaux d'une grande facilité d'emploi et qui sont, de loin, les plus largement utilisés. Par ailleurs, les peintres se sont familiarisés avec les nombreux subjectiles nouveaux apparus dans le Bâtiment (bétons banchés, mortiers bâtards, bois contreplaqués, bois densifiés, amiant-ciment, agglomérés divers, matières plastiques moulées, aluminium et alliages légers, zinc et tôle d'acier zinguée, ...) et ont mis au point de nouvelles techniques, en conséquence.

La polychromie architecturale repose, il est vrai, sur deux éléments fondamentaux: le premier, d'ordre spécifiquement *esthétique*, relève de la création artistique — et les coloristes conseils exerçant actuellement en France sont presque tous d'anciens peintres de chevalet —; le second, à caractère nettement *technique*, propre aux qualités de protection que l'on attend des peintures et relatif, d'autre part, à la bonne conservation dans le temps et dans des conditions d'exposition particulières, de la couleur des revêtements réalisés. Durabilité et stabilité de couleur des revêtements constituant une polychromie sont les principaux critères que nous nous proposons d'examiner plus spécialement ici.

DURABILITE DES REVETEMENTS COLORES

La nécessité de prévoir la mise en peinture d'un édifice avant la construction proprement dite s'explique pour une raison essentielle d'ordre technique: il est, en effet, indispensable de concilier a priori la nature des matériaux utilisés pour l'appareillage extérieur et intérieur des murs (briques, pierres naturelles ou artificielles, plâtre, agglomérés, etc.) avec la nature des produits de revêtement à appliquer. Plus précisément, les réactions, physique et chimique, de tel ou tel subjectile, vis-à-vis de telle ou telle peinture, peuvent entraîner une incompatibilité qu'il serait dangereux de méconnaître: ces réactions devront donc être prévues.

Il ne faut pas oublier qu'il y a souvent très loin du projet à l'œuvre elle-même: une coloration effectuée sur le papier ou maquette, à l'aide de peintures, dites « fines », pour artistes, peut s'avérer effective-

ment irréalisable, étant donné le prix très élevé de certains pigments réservés aux spécialistes du chevalet. Certains rouges et jaunes de cadmium, bleus et violets de cobalt, sont économiquement inutilisables en peinture de bâtiment.

On croit, par ailleurs, généralement, que l'action des agents atmosphériques sur les films de peinture à l'extérieur des bâtiments s'avère moins redoutable que celle d'agents chimiques particulièrement agressifs: c'est, le plus souvent, une erreur. Telle peinture, qui fera preuve d'une excellente résistance aux acides, peut occasionner de graves déboires, si on l'applique dans une atmosphère où elle n'aura à subir que les intempéries naturelles. Sans doute parce que, dans ce dernier cas, les variations de plusieurs paramètres (ensoleillement, humidité, vent dominant, etc.) font subir au film des efforts beaucoup plus grands: les actions des différents paramètres peuvent être simultanées ou non, plus ou moins prolongées et marquées, bref, mettre, en quelque sorte, le film à un régime de « douche écossaise ».

En particulier, l'action des rayons ultra-violet de la lumière solaire joue un rôle capital dans l'évolution des films. A ce propos, ainsi que le précise M. Petit, Directeur du Laboratoire de Recherches sur les Peintures et Vernis, au cours d'une conférence qu'il vient de présenter, il y a quelques jours, aux Journées-Exposition de la Peinture, il est particulièrement dangereux de se fier aux résultats de certains cycles de vieillissement accéléré, mettant en jeu le rayonnement ultra-violet donné par des lampes à vapeur de mercure ou par d'autres sources, pour établir la durabilité probable d'un revêtement. En effet, les lumières utilisées en laboratoire contiennent des radiations auxquelles les films de peinture ne seront jamais soumis dans la réalité et certaines des réactions photo-chimiques, provoquées en laboratoire, n'existeront jamais dans des conditions d'exposition naturelle à la lumière solaire. Ce détail est d'une importance capitale, car « si l'on veut accélérer les effets produits, en les conservant authentiques à eux-mêmes, ce qui est fondamental, il faut augmenter la quantité d'énergie, mais en lui conservant la même qualité. Dans le cas contraire, toute corrélation devient fallacieuse ».

Il importe aussi de soulever le problème du choix des préparations à films mats ou à films brillants, eu égard à la stabilité des couleurs à la lumière de ces films à pouvoir réfléchissants spéculaires très variables d'un cas à un autre.

STABILITE DE COULEUR DES CONSTITUANTS PIGMENTAIRES

On a coutume, dans l'industrie des peintures et préparations assimilées, de parler plus fréquemment de stabilité de couleur à la lumière des constituants

solides (pigments, laques, matières de charge) que de stabilité de couleur à la lumière des films des peintures elles-mêmes.

En fait, la stabilité de couleur à la lumière d'un pigment coloré déterminé n'est pas à considérer, dans la pratique, comme une caractéristique absolue dudit pigment: si elle dépend de la constitution spectrale de la lumière qui agit, du degré hygrométrique de l'atmosphère ambiante, des conditions de pollution de cette atmosphère, par agents chimiques plus ou moins actifs, encore des autres pigments blancs ou colorés, et des matières de charge, avec lesquelles le dit pigment peut être mélangé, elle est encore fonction, dans une large mesure, des caractéristiques du milieu de suspension en cause et de la concentration du pigment dans ce milieu.

C'est la raison pour laquelle il est essentiel, dans la rédaction d'un procès-verbal d'essais de stabilité de couleur à la lumière solaire de pigments, de bien préciser la constitution du milieu de suspension, comme aussi, d'ailleurs, s'il s'agit d'essais de longue haleine, par exposition d'éprouvettes aux agents atmosphériques, les conditions détaillées de cette exposition. Voici un exemple de rédaction correcte: résultats d'essais de stabilité de couleur à la lumière naturelle de divers types de pigments orange, intervenant, dans la constitution de peintures-émail aux vernis gras aux résines glycérophtaliques (36 % d'anhydride phtalique et 52 % d'huile de lin), purs ou en mélanges, respectivement avec 50 % et 90 % de dioxyde de titane non farinant. Les éprouvettes, réalisées sur tôle d'acier, traitées, en couche primaire, en peinture à l'huile au rouge ferrifère et recouvertes ensuite de deux couches de peintures-émail orange sus-visées, ont été exposées, à l'extérieur, durant 12 mois, sous le climat d'Alger, inclinées à 45°, face au sud.

De nombreux pigments et de nombreuses laques manquent de stabilité de couleur sous l'action de la lumière solaire. C'est le cas, notamment, pour le brun Van Dyck, la laque de garance, la laque de carmin, le rouge de Berlin, le brun de Cassel, le jaune de Naples, le jaune d'outremer, le jaune de strontiane, la terre verte, des laques de colorants d'aniline, les jaunes de chrome, le vermillon.

La couleur initiale de pigments peu solides à la lumière est encore plus rapidement altérée, par exposition à l'extérieur, lorsqu'ils se trouvent en contact avec des matières filmogènes organiques, elles-mêmes altérables sous l'action des rayons ultra-violet solaires, dont les liants-adhésifs usuels de peintures à milieu de suspension aqueux (gélatines, colles, caséines...) et quelques types de résines, naturelles ou artificielles.

A rappeler ici que, si le bleu de Prusse est une couleur stable à la lumière, on constate que ses mélanges avec le blanc de zinc se décolorent assez rapidement. Cette question a déjà fait l'objet de nombreuses études, et les raisons profondes de cette décoloration photochimique ne paraissent pas encore avoir été définitivement élucidées. Comme le bleu de Prusse, les cendres bleues supportent mal le mélange avec les blancs de base, qui sont constitués par des oxydes basiques (blanc de zinc, blanc d'antimoine).

Dans le groupe des pigments, peu nombreux, qui sont vraiment stables à la lumière, figurent des pigments minéraux naturels, dont les ocres et les rouges et bruns de fer voisins, les verts de chrome, le bleu d'outremer, le bleu de cobalt.

Les pigments minéraux sont généralement plus résistants à la lumière que les pigments organiques, particulièrement dans le cas de films, où ils n'entrent qu'à faibles concentrations.

En ce qui concerne les pigments organo-minéraux, on constate généralement que la stabilité de couleur à lumière solaire est améliorée par l'intervention de fer ou d'un métal alcalinoterreux, comme aussi par celle d'un groupe nitro ou de chlore. La stabilité de couleur à la lumière solaire est maximum dans le cas des pigments dont l'édifice moléculaire enserme un cation métallique, comme c'est le cas pour le bleu de Prusse, avec le fer, et les phtalocyanines métalliques, avec le cuivre ou le nickel.

CONCLUSION

La polychromie suppose l'étude de rapports précis entre tons; si les tons s'altèrent, l'effet recherché, s'il ne disparaît pas totalement, risque de s'atténuer considérablement. Les anciens fresquistes connaissaient bien, en général, ce risque et prenaient leurs précautions, avant d'exécuter leurs œuvres: car on peut, dans une mesure non négligeable, prévoir l'évolution du ton de certains pigments, et composer une peinture qui « deviendra vraiment elle-même » au bout d'un certain laps de vieillissement, dans une atmosphère donnée.

Il est d'ailleurs pratiquement impossible, aux fournisseurs de pigments et de peintures, de fournir, aux consommateurs de peintures, des renseignements absolument décisifs sur la stabilité à la lumière de leurs fabrications. Les phénomènes photochimiques comptent parmi les principales causes d'altération des films des polymères, que sont les résines artificielles, et l'absorption de l'énergie solaire peut se produire, en surface et dans la masse d'un film, aussi bien à l'intérieur du liant qu'à l'intérieur du ou des pigments; dans ce dernier cas, il peut en résulter des réactions secondaires, qui agissent sur le liant, d'où, à la fois changement de couleur et altération du film.

Nos connaissances actuelles sont encore insuffisantes pour permettre de prévoir, dans tel ou tel cas particulier, quel pourra être le comportement d'un film de peinture, d'une couleur déterminée, obtenu à partir de pigments semi-organiques ou organiques: il serait donc réellement abusif d'exiger, des fabricants de peintures, qu'ils soient à même, à l'occasion de livraisons, de mettre en garde les consommateurs en cause, contre les dangers de modification, anormalement rapide, des couleurs initiales, alors que, dans la majeure partie des cas, ils ignorent les conditions exactes dans lesquelles ces fabrications doivent être mises en œuvre.

Il est évident que le souci, pour les fabricants de peintures, de mentionner, dans les textes qui accompagnent les « cartes de teintes », que telles ou telles teintes peuvent être mélangées pour la réalisation de nouvelles teintes, vise surtout à éviter que l'utilisateur n'en vienne à mélanger des peintures ne comportant pas le même milieu de suspension, c'est-à-dire n'appartenant pas à la même famille, selon la classification afnorienne — norme NF T 30-003, de Janvier 1950 —, pratique qui peut provoquer de graves mécomptes d'épaississements (floculations, gélifications), rendant les produits définitifs absolument inutilisables.

Dans l'état actuel des problèmes que nous venons de rappeler brièvement, on se doit de souligner l'importance des travaux déjà réalisés par le Laboratoire Officiel de la Fédération Nationale des Fabricants de Peintures (création d'une gamme de tons pour les peintures de Bâtiment) ainsi que les études poursuivies par le Centre d'Information de la Couleur dans le cadre de sa Commission de Colorimétrie.

COULEURS FONCTIONNELLES

par M. LARROUY

Ingénieur aux Etablissements René Villemer

Lorsque l'on parle de couleurs fonctionnelles, une question est souvent posée. Pourquoi et comment une couleur est dite fonctionnelle? Cette définition a été utilisée parce que des essais de laboratoire et des expériences pratiques ont prouvé qu'il émane des couleurs de l'énergie qui influe sur notre comportement en général et sur notre activité en particulier. On a donc pu dire que la couleur exerçait bien une fonction sur cette activité.

Si dans le passé, la couleur était utilisée uniquement du point de vue esthétique, la couleur fonctionnelle a des bases plus tangibles et correspond à des desiderata précis. Ces principes sont le résultat de recherches faites par des spécialistes de la couleur, des ingénieurs éclairagistes et des ophtalmologistes. Partout où il était possible de la faire, on a procédé à ces mesures, on a enregistré la fréquence des accidents et l'augmentation de la production.

D'autre part, il est apparu dans ces recherches que l'influence des couleurs sur le corps humain avait des répercussions importantes sur la capacité de production des ouvriers et des employés. Or, l'histoire de l'Industrie moderne abonde en détails d'apparence insignifiante, mais qui se sont révélés d'une importance considérable dans l'augmentation de la production.

La fatigue visuelle est essentiellement un phénomène musculaire. Ce trouble est dû à des efforts d'accommodation, à des essais d'ajustements, à un éblouissement, etc... C'est un fait reconnu qu'une amélioration des conditions visuelles se répercute sur le système nerveux, musculaire et respiratoire. L'efficacité générale de l'homme est donc liée étroitement à la vision et par conséquent à la couleur. Un grand effort des recherches a été réalisé ces 20 dernières années et l'on est parvenu à définir les différents degrés de réflexion que doivent avoir les couleurs pour réaliser un ensemble fonctionnel.

Il s'est donc créé une véritable science des couleurs destinée d'abord à promouvoir l'efficacité dans l'industrie. On est arrivé par son application, à réduire la fatigue visuelle du travailleur, à améliorer son moral ainsi que la qualité et le rythme de la production, et autre résultat très important à réduire dans de fortes proportions le nombre d'accidents par l'emploi des couleurs de signalisation.

Il y a donc un intérêt majeur à se servir et à tirer parti du dynamisme des couleurs.

Toutefois, si en utilisant plusieurs couleurs on fait bien de la polychromie, il ne faut pas tomber dans l'excès et faire de la polychromie agressive, ce qui irait tout à fait à l'encontre du but recherché. En effet, ce qu'il s'agit d'obtenir en appliquant des couleurs fonctionnelles, c'est de créer par l'utilisation de teintes douces, une ambiance agréable mais non fatigante.

Pourtant, il ne faudrait pas en conclure que le choix des couleurs est un problème simple. En réalité, la difficulté provient de la diversité des locaux en cause, éclairage, orientation, disposition, espace, hauteur, utilisation, etc... Des règles techniques ont dû être mises au point pour obtenir le résultat recherché. Il est utile d'insister sur ce point car les idées sur les couleurs fonctionnelles sont

si souvent erronées qu'elles en ont perdu tout sens technique. La couleur fonctionnelle n'est pas de la décoration intérieure, mais elle vise à adapter la couleur au milieu ambiant, suivant des spécifications bien précises élaborées d'après des essais pratiques.

Ainsi dans des exemples de réalisations qui vous seront présentés et commentés tout à l'heure, nous verrons que le confort visuel et le repos de l'œil peuvent être assurés par un choix de couleurs réalisant une homogénéité d'éclairage.

Il peut parfois être utile de créer des contrastes, mais en les disposant de telle façon que le champ de vision habituel soit constitué par une surface d'une couleur reposante.

Il peut être aussi nécessaire de créer une ambiance froide, ce qui est le cas par exemple d'une chaufferie. On y arrive très bien par l'utilisation d'une couleur froide telle que le bleu foncé.

L'ambiance à créer par les couleurs fonctionnelles est également fonction de la situation géographique car il est bien évident qu'elle ne peut être la même suivant que l'usine est située au Nord ou au Sud.

En ce qui concerne l'Industrie, si l'on tient compte du fait qu'un industriel doit dépenser, chaque année, une certaine somme pour l'entretien de ses locaux, il faut admettre que les sommes dépensées pour l'application des produits de peinture doivent être considérées comme faisant partie des frais généraux inévitables. En réalité, l'industriel qui dépense une certaine somme pour la peinture de son usine, ne retirera comme avantage que la protection de biens immobiliers et cette somme ne pourra en aucun cas constituer un élément rentable. Si, par contre, il lui est possible de récupérer cette somme par une augmentation du rendement due à une ambiance fonctionnelle, la dépense envisagée deviendra productive et pourra être considérée comme un investissement.

L'un des résultats les plus spectaculaires est celui qui a été obtenu en peignant en couleurs fonctionnelles appropriées des ateliers aveugles. Créer une ambiance gaie et fonctionnellement appropriée dans le volume entièrement clos que constitue une salle aveugle; est un problème extrêmement particulier et complexe.

Il est notoire que la luminosité d'un semblable local, sa polychromie, ainsi que les conditions d'aération sont autant de facteurs qui peuvent exercer une action certaine et efficace sur la sensibilité des occupants et par voie de conséquences sur les rendements qualitatifs et quantitatifs.

Dans un autre domaine, une des études les plus caractéristiques a été la recherche de teintes scientifiquement appropriées à la décoration intérieure du sous-marin à propulsion atomique le Nautilus. D'après un rapport émanant de l'Office de Recherches du Quartier général de la U. S. Navy, la décoration du Nautilus et le choix rationnel des teintes a été un des problèmes les plus ardues. L'équipage devant parfois rester plusieurs semaines en plongée et enfermé dans cette carapace d'acier, il fallait créer une ambiance acceptable afin d'éviter

les réactions défavorables de l'organisme, se traduisant par des troubles psychiatriques, des dépressions nerveuses, etc...

En ce qui concerne la peinture des machines, les résultats sont tout aussi probants. En effet, lorsqu'il est question au départ de peindre certaines parties de machines en teinte claire afin de rendre très visible le champ de travail, l'objection immédiate est celle de la difficulté d'entretien. Or, à la surprise générale, cette difficulté disparaît car le fait d'avoir mis entre les mains de l'ouvrier une machine propre sur laquelle il voit enfin clair, lui donne l'envie et le goût de la maintenir en état, et d'autre part, il se rend compte que la signalisation chromatique lui apporte un complément de sécurité qui était inexistant sur les machines d'un gris uniforme et monotone.

Les médecins ont constaté depuis longtemps que les couleurs peuvent stimuler ou déprimer. Certains facilitent la détente et rendent plus joyeux, alors que d'autres font naître l'irritation et provoquent une gêne physique.

On sait que le blanc et la couleur qui réfléchit le plus de clarté, son emploi généralisé n'est toutefois pas recommandé car s'il n'est pas relevé de couleurs chaudes et gaies, il provoque un froid qui ne contribue certes pas à relever le moral.

Mais le problème de l'introduction scientifique de la couleur dans les hôpitaux ou cliniques est complexe, chaque couleur devant être sélectionnée en raison de la conception fonctionnelle des différents locaux. Pour certaines sections, il faudra notamment tenir compte que les climats à créer ne s'adressent plus à des êtres vivant normalement et qui retrouvent leur équilibre dans des cadres appropriés, mais à des personnes immobilisées qui subiront l'ambiance de leurs chambres pendant toute la durée de leur séjour.

La chambre d'un malade doit donc être, coloristiquement parlant, différente de celles d'une accouchée ou d'un opéré.

Il est essentiel que les couleurs des surfaces se trouvant directement dans le champ visuel du patient soient apaisantes, mais elles doivent être tempérées par des couleurs stimulantes sur les autres surfaces afin de rendre l'ambiance de la chambre aussi agréable que possible.

Quant aux autres locaux, les teintes à utiliser doivent naturellement être sélectionnées suivant leurs différentes affectations.

Nous avons tous connu la morne ambiance des salles de classe de notre jeunesse, or, celle-ci peut être également transformée par les couleurs fonctionnelles.

Pour retenir l'attention des élèves durant les cours, on utilise ce que l'on nomme le mur focal, c'est-à-dire celui faisant face aux élèves et devant lequel se tient le professeur. On appliquera sur ce mur une teinte chaude et attractive tandis que les autres murs recevront une teinte neutre et plus foncée. De ce fait et instinctivement l'attention des élèves se concentre davantage vers le professeur.

Enfin, le point de vue psychologique doit également être envisagé.

Lorsque nous sommes amenés à choisir pour notre logis un objet qui nous deviendra par la suite familier, nous attachons une importance toute particulière à la teinte de celui-ci, à son harmonie dans le cadre où il doit être placé, et à l'effet agréable qu'il nous procurera au cours des mois ou des années pendant lesquels nous devons le voir.

Si nous attachons ainsi une importance particulière à la décoration de notre logis, c'est parce que nous estimons qu'il est nécessaire d'y créer une ambiance de laquelle résulte un désir toujours plus grand d'y vivre, un délassement à nos occupations, un calmant de notre système nerveux, et un repos bien mérité pour tout homme qui travaille. Et si inconsciemment nous attachons une telle importance à la question décorative de notre logis, c'est parce que nous en sentons directement les bienfaits.

Pourquoi dès lors, ce qui est vrai pour les heures que nous passons chez nous, ne le serait-il pas pour les lieux de travail et d'études où nous passons une grande partie de notre temps et où l'ambiance dans laquelle nous vivons influencera également notre comportement et par conséquent notre activité et notre rendement.

Il est nécessaire d'attacher une importance primordiale à l'équilibre nerveux des individus car pour produire ou étudier vite et bien, il est indispensable de se trouver dans des conditions physiques parfaites.

La couleur fonctionnelle est un des moyens nous permettant d'y parvenir, c'est pourquoi elle est considérée maintenant comme un facteur de productivité et qu'à ce titre ses applications deviennent de plus en plus nombreuses.

PHOTOGRAPHIES DES POLYCHROMIES FONCTIONNELLES DE LA SOCIÉTÉ DUCO

présentées par M. SAFFRE

Chef de Laboratoire de la Société DUCO

1^{re} Série. — PHOTOS INDUSTRIELLES

1) *Ecole textile de Rouen:*

Un des principaux buts des couleurs d'ambiance dans les ateliers est d'assurer aux travailleurs un confort visuel satisfaisant.

Ce but a été atteint dans cet atelier textile:

1) par l'emploi des verres diffusants sur la toiture (thermolux).

2) par l'adoption d'une polychromie très simple:

- plafond blanc
- murs verts
- machines grises
- mobilier chamais
- cylindres pour rubans de coton rouge brique.

Cette polychromie assure une luminance très homogène, en même temps que les contrastes de couleurs désirables pour obtenir la distinction nette des objets.

En particulier la matière textile qui constitue l'élément primordial à observer est mise en évidence sans brutalité sur le fond gris des machines et vert des parois.

Les couleurs sont distinctes, complémentaires même, mais rompues à la juste dose pour ne pas être fatigantes à observer.

2) *Atelier de bobinage des fils de cuivre pour petits moteurs: Thomson.*

Des parois claires assurent le rendement lumineux maximum, mais elles sont fatigantes à regarder. Il convient donc d'utiliser dans certains cas une alternance de zones claires et de zones de repos visuel.

Dans cet atelier les ouvrières sont toutes orientées vers le mur turquoise qui constitue, face à leurs regards, la zone de repos visuel souhaitable, tandis que latéralement les parois sont en couleur chamais clair, plus chaude, plus dynamique.

De plus, les tons sont choisis de manière à former un ensemble harmonieux et agréable.

3) *Chaufferie au mazout (Thomson).*

Le bleu saturé des parois a pour but de donner une sensation puissante de fraîcheur dans l'atelier.

Cette sensation toute psychologique sera d'autant mieux ressentie que les ateliers voisins seront traités en couleurs nettement moins froides.

4) *Telle que la salle de pompes que voici.*

Cette combinaison de couleurs a, en outre, pour but la mise en évidence de l'appareillage par rapport aux parois, tout en faisant apparaître sur cet appareillage les différents organes qu'il est utile d'y distinguer.

PAROIS: ocre jaune clair avec soubassement rouge brique.

APPAREILLAGE: vert avec canalisations d'eau bleu clair et moteurs électriques bleu foncé.

POINT DE GRAISSAGE et APPAREIL D'INCENDIE: rouge vif.

ASSEMBLAGE de tons nettement distincts, mais assez rompus pour ne pas se heurter avec violence et pour former un ensemble harmonieux.

5) *Atelier de fabrication* de réglottes pour tubes luminescents basé sur le même principe que le précédent, vue prise de côté.

6) *Le même atelier*, vu de face.

7) *Atelier de fabrication* de panneaux isogil (sorte d'isorel très dur).

Buts recherchés: 1) distinction des éléments: machines, parois, passerelles, tuyauteries d'eau, pont roulant;

2) polychromie à dominante relativement froide. L'usine est située dans le sud de la France.

8) Voici une cuisine analogue (isolin) située à 1000 km au Nord de la précédente où la polychromie adoptée est à dominante nettement plus chaude.

Polychromies intérieures établies dans le sens inverse des climats extérieurs.

Ces deux photographies illustrent le principe général du climat par la couleur. Il s'agit d'un climat psychologique, c'est-à-dire, qui ne modifie en rien les réalités mais notre état de réceptivité à celles-ci.

9) Usine isolin. Atelier d'hydraulique où les réservoirs d'eau peints en bleu, forment avec les murs en brique, une agréable et utile opposition.

Dans cette usine les murs ne sont pas peints. Le ton brique fait partie du plan couleurs. Il y joue son rôle. La peinture est inutile ici. Avec les mêmes crédits il vaut mieux d'ailleurs peindre peu et bien que de peindre tout et mal.

10) Même exemple que le précédent, mais avec des couleurs encore mieux réussies au point de vue photographique.

11) Atelier de mécanique de l'énergie nucléaire de Saclay.

Dans cet atelier, les ouvriers avaient la sensation désagréable de travailler dans un puits, les murs étaient en béton et sans fenêtres. La lumière n'arrivait que par le haut de l'atelier central. Ils réclamaient des ouvertures latérales. La polychromie visible sur la photo a changé complètement l'ambiance qui est devenue plus sympathique et les réclamations ont cessé.

L'atelier central est traité en tons froids et les ateliers latéraux en tons plus clairs et plus chauds. On obtient ainsi un bon équilibre des sensations chromatiques.

12) *Laboratoire de l'énergie atomique de Saclay.*

A chaque laboratoire est adjoint un petit bureau séparé par une cloison. Cette volonté de séparation est accentuée par l'adoption d'un climat par la couleur, distinctif.

Dans le laboratoire lui-même, couleur plus dynamique, plus favorable aux activités de manipulation.

Dans le bureau couleur plus favorable à la concentration intellectuelle.

Les laboratoires de Saclay sont tous traités suivant le même principe, mais avec des variantes pour donner à chaque service son caractère propre, en tenant compte aussi de l'orientation des locaux.

13) Autre aspect d'un laboratoire de Saclay, avec carreaux de céramique verts et noirs, permettant de mieux détailler tous les organes complexes de l'appareillage en verre blanc sur les tables de travail.

14) Photographie d'un atelier avant peinture (les machines sont déjà protégées par du papier avant les travaux). Manufacture d'allumettes d'Aubervilliers.

15) Photographies du même atelier après peinture — changement total du niveau de clarté et de l'aspect général.

16) Les usines en général et surtout celles où la signalisation chromatique a un rôle important à jouer doivent être peintes avec des couleurs assez discrètes, sauf raisons valables exceptionnelles.

Dans cet atelier traité en tons pastels, on voit apparaître nettement dans le haut d'un mur un macaron rouge signalant la présence d'un extincteur au soubassement masqué par l'appareillage.

17) Dans la même usine, des engrenages dangereux vus de côté.

18) Les mêmes engrenages vus de face.

19) Ateliers de mélangeurs de la Société Duco. Couleurs d'ambiance: orange dégradé, moteurs bleus.

Pour favoriser l'exécution des travaux de force: polychromie vigoureuse, claire et dynamique.

Remarque importante. — Les couleurs vives de cet atelier sont respectées par le personnel qui les maintient en bon état parce que le cadre lui plaît.

20) Le même atelier au rez-de-chaussée.

Partie inférieure des mélangeurs trouant le plafond.

21-22) Certaines usines en France qui ont adopté le principe des couleurs fonctionnelles dans les ateliers ont aussi amélioré le cadre extérieur. Voici un des exemples: Usine électrocéramique de Bazet (Basses-Pyrénées).

2^e Série. — PHOTOS DE BUREAUX ET DIVERSES

23) Bureau d'une banque à Paris (B.N.C.I.) située en plein Sud, très bruyant, machines électro-comptables.

Polychromie à dominante apaisante, fraîche, en opposition avec celle du bureau suivant situé au Nord, de l'autre côté de la cloison.

24) Teintes plus chaudes, plus dynamiques.

25) Bureau de direction des recherches de l'Energie nucléaire de Saclay.

Système de parois contrastées, analogue à celui de l'atelier de bobinage (2^e photo). Les occupants qui se font vis-à-vis trouvent en face d'eux des parois de couleur moins agressives que latéralement.

26) Hall d'entrée des laboratoires de biologie de Bondy: rez-de-chaussée sous la galerie — Architecture moderne, d'un style très sobre, très dépouillé dont les seuls ornements sont les couleurs adoptées sur certaines parois.

Le caractère de sobriété est sauvegardé par une polychromie simple qui crée une atmosphère d'accueil, une sensation d'espace et de lumière.

27) Plus sensible encore sur la photo suivante 27.

28) Hôpital psychiatrique.

Salle commune d'un ancien bâtiment qui existait encore il y a trois ans, aujourd'hui démolie.

29) Salle prise dans le nouveau bâtiment où l'ambiance lumière couleurs a été complètement révisée, suivant les principes actuels de l'éclairagisme et de la polychromie.

30) Cellule de force dans ce même hôpital — ancien bâtiment, système cachot, sinistre.

31) Cellule de force, nouveau bâtiment, même système de cachot qui est nécessité par le comportement physique des malades, mais modification complète de l'ambiance lumière couleurs. Contraste saisissant avec la précédente.

D'autres cellules sont en vert clair, bleu pastel, pêche et ont permis de faire des remarques fort intéressantes sur l'influence des couleurs d'ambiance sur les malades du système nerveux, sur les effets toniques ou sédatifs des ambiances de couleurs.

3^e Série. — CLINIQUE DE FLERS

Indications plus rapides.

32) Extérieur de la clinique. Nouveau bâtiment construit l'an dernier.

33) Hall d'entrée. Ambiance d'accueil.

34) Salle d'attente. Plafond bleu, murs chamois.

35) Couloir. Impression de clarté, d'ensoleillement artificielle par la couleur jaune pastel.

36) Salle de chirurgie en lumière du jour en bleu foncé.

37) Salle de chirurgie en lumière artificielle, conditions de mise en service.

Les avis des chirurgiens sont partagés, les uns préfèrent une ambiance vert clair. Les autres préfèrent une ambiance bleu de nuit comme celle-ci.

Les éclairagistes ne sont pas partisans de cette dernière: écart de luminance trop important entre le champ visuel central et le champ périphérique.

38) Désinfection traitée dans un bleu transitoire.

39) Stérilisation avec progression vers les tons plus chauds et lumineux des couloirs.

40) Chambre de malades: bleu clair
41) Chambre de malades: vert tilleul
42) Chambre de malades: bleu (pour agités) } principe des diversités
voir grillage aux fenêtres.

43) Cuisine } le blanc traditionnel doit être main-
44) Cuisine } tenu dans les cuisines et sanitaires des locaux collectifs.

4^e Série. — HOSPICE DE GIEN. (Description sans commentaires).

45) Vue extérieure, bâti en 1955.

46) Escalier dans le hall d'entrée.



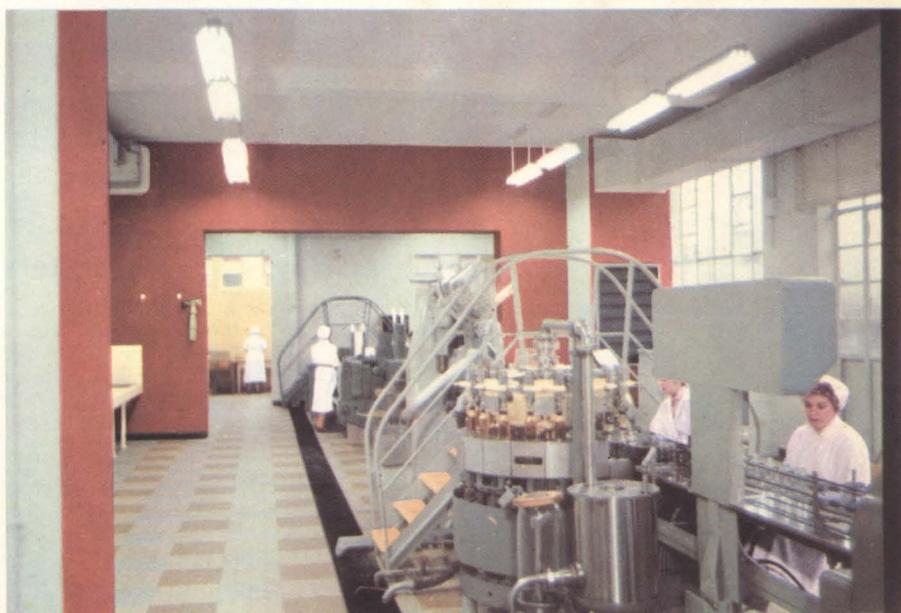
UN ATELIER DE MÉCANIQUE DE L'USINE D'ARMEMENT DE CHATELLERAULT

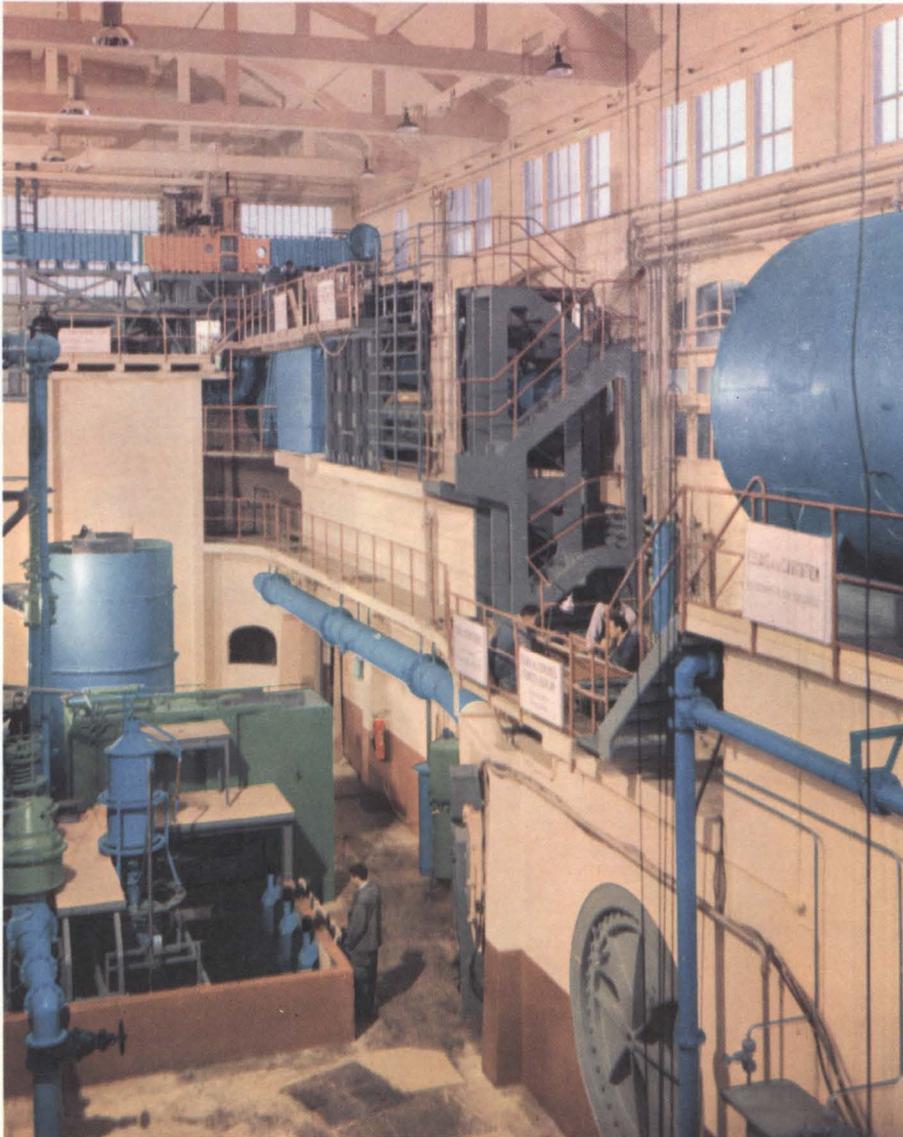
Dans cet atelier les charpentes métalliques sont allégées par des tons clairs. Les baies vitrées sont apparemment élargies grâce au ton chamois des murs à contre-jour et la lumière arrive ainsi de toutes parts sur l'alignement d'un matériel traité en couleurs fonctionnelles : vert, chamois et bleu. La discipline toute militaire avec laquelle ce projet a été suivi dans les moindres détails, a contribué pour beaucoup à sa réussite.

UN DES ATELIERS DE CONDITIONNEMENT AUTOMATIQUE A L'USINE SPECIA - RHONE - POULENC DE SAINT-FONS

Dans cet atelier, un matériel sobrement coloré est encadré de couleurs d'ambiance chaudes et froides qui se succèdent alternativement dans des plans perpendiculaires.

Un climat très vivant est ainsi obtenu par la couleur dans un local où le personnel a pour mission de surveiller des opérations entièrement automatiques.





ATELIER D'HYDRAULIQUE DE LA SOCIÉTÉ NEYRPIC A GRENOBLE

Dans ce laboratoire connu dans le monde entier comme un des plus importants et des mieux équipés, les couleurs ont pour but d'établir une distinction rapide et parfaite des différents circuits et des différents organes de l'appareillage.

Cependant, le problème crucial, dans un local de travail comme celui-ci, est de concilier le rôle fonctionnel des couleurs et leur rôle esthétique.

C'est par cette conciliation seulement qu'une polychromie d'atelier peut atteindre la perfection.



ATELIER DE L'USINE HOUBIGANT A NEUILLY

Dans un atelier comme celui-ci, exceptionnellement propre et même "parfumé" les tons blancs peuvent s'admettre sans difficulté sur le matériel de fabrication.

Les parois bleutées mettent ce matériel en évidence et forment avec lui une association fort jolie.

Les couleurs signalétiques choisies et agencées comme elles le sont deviennent des éléments décoratifs.

ATELIER DES POMPES DE LA THOMSON-HOUSTON A NEVERS

Un matériel aux formes ingrates et compliquées peut se dessiner avec plus d'élégance et de clarté si les couleurs sont bien choisies.

Dans le cas présent, les réservoirs en vert rompu s'inscrivent nettement mais sans brutalité sur des parois ocre jaune et ocre rouge. Dans la réalité, imparfaitement reproduite, les moteurs électriques fixés au sol sont en bleu foncé, les tuyauteries d'eau en bleu clair; les points de graisages en rouge sont repérables d'un premier coup d'œil et l'appareil d'incendie, comme il se doit, rutil.



- 47) Escalier dans le hall d'entrée (vu à contre jour).
- 48) Couloir.
- 49) Chambre: fond de lit bleu.
- 50) Chambre: fond de lit rouge.
- 51) Appartement pour vieux ménage avec cuisine.
- 52) Dortoir.
- 53) Salle commune.
- 54) Office.
- 55) Office à contre jour.
- 56) Couloir avec effet de contraste bleu et jaune.
- 57) Couloir: escalier, rampe rouge sur fond bleu.
- 58) Chambre mansardée, rendue sympathique grâce à la polychromie.
- 59) Idem. avec variante suivant orientation.
- 60) Chapelle: chœur
- 61) Chapelle: ensemble
- 62) Chapelle: détail baptistère
- 63) Panorama de la ville de Gien.

5^e Série. — HABITATIONS PRIVEES

- 1^{er} Type. — *Intérieur de villa. Mobilier moderne.*
- 64) Living-room.

La polychromie du mobilier et des couleurs d'ambiance forme un tout comme dans les exemples qui suivent.

65) Le même living-room à contre-jour.

2^e type. — *Intérieur de villa. Mobilier rustique.*

66) Living-room.

Notes de couleurs vives sur fond gris pour égayer le mobilier rustique.

67) le même, pris sous un autre angle.

68) le même, pris du côté escalier.

3^e type. — *Intérieur d'un appartement de Paris.*

69) Utilisation d'une triade.

Jaune, gris, rouge, sur les murs et le mobilier qui a été réunie dans le dessin des doubles rideaux.

4^e type. — *Intérieur d'un grand appartement avec mobilier de style.*

70) Antichambre.

71) Salon vu de l'anti-chambre.

72) Détail du salon.

Le vert uni met en valeur les notes chaudes et profondes du mobilier de style et des tapisseries.

LUMIÈRE ET COULEUR, FACTEURS D'HYGIÈNE, DE CONFORT ET DE SÉCURITÉ DU TRAVAIL

par M. LEVY

*Ingénieur des Mines, Chef des Etudes Générales
à l'Institut National de Sécurité*

L'auteur a particulièrement insisté sur l'aspect international de la Normalisation des signaux de sécurité.

D'importantes études sont en cours, en Tchécoslovaquie sous la direction du Dr. Krivolhavy, aux Pays-Bas sous celle du Dr. Fortuin et de M. de Schrevel, en France sous celle de l'Institut National de Sécurité, en collaboration avec divers chercheurs, notamment MM. Maisonneuve et Barthès. D'autres recherches sont également effectuées en Italie et en Allemagne.

Le but de ces recherches est d'arriver à la mise au point de panneaux de signalisation parfaitement visibles dans toutes les conditions d'éclairage, et dont la signification puisse être comprise même d'une personne peu avertie. Ce problème, analogue à celui de la signalisation routière, mais qui se pose dans de nombreux autres domaines de l'activité humaine présente en fait des difficultés assez grandes parce qu'il est lié à des questions d'ordre psychophysiologique concernant la vision des couleurs, questions sur lesquelles nos connaissances actuelles sont encore peu abondantes.

C'est pourquoi il est actuellement très délicat de donner des recommandations de caractère définitif puisque certains points restent encore dans l'ombre.

Les discussions ont toutefois permis de mettre en évidence quelques points qui paraissent maintenant définitivement établis et qui sont rappelés ci-dessous :

1° Il est indispensable que le panneau possède une bordure

2° Il est en général souhaitable que le panneau comporte un schéma expliquant la nature du danger.

De tels schémas sont prévus notamment pour les risques ci-après : matières inflammables — matières explosives — matières toxiques — matières corrosives — matières radioactives — électricité — charges suspendues — chute d'objets — températures — objets coupants ou piquants — chutes de personnes (sols en mauvais état ou glissants) — etc...

Si un accord international n'a pu encore être obtenu sur le graphisme des schémas illustrant ces risques, nous savons dès maintenant qu'ils doivent être de même teinte que la bordure et que cette teinte doit être plus foncée que le fond du panneau.

Ce sera par exemple : schéma et bordure noirs sur fond jaune orangé

ou : schéma et bordure jaune orangé sur fond blanc
ou : schéma et bordure rouges sur fond blanc.

Ce sont justement la valeur relative des surfaces colorées, la dimension des panneaux, leur pouvoir réfléchissant, qui font l'objet des travaux en cours, travaux au sujet desquels les Journées de Toulouse ont permis une confrontation utile des divers points de vue, confrontation dont le résultat permettra dans les mois à venir le renforcement des liaisons entre les différents chercheurs, dans le cadre de l'Organisation Internationale de Normalisation.

VISIBILITÉ DES PANNEAUX DE SIGNALISATION

par M. de SCHREVEL

Chef du groupe « Chimie » du Département de la Normalisation Générale des usines Philips (Eindhoven)

Lors de la dernière réunion du Comité ISO/80 (Organisation Internationale de Normalisation) sur les signaux de sécurité il restait, après la contribution expérimentale précieuse du délégué Tchèque encore quelques questions et incertitudes.

Il s'agissait de la combinaison des couleurs proposées et des schémas à utiliser pour caractériser le concept à représenter.

Quant à la visibilité de la combinaison des couleurs, on pourrait se demander pourquoi ce problème a été posé.

En effet, on sait par la littérature que les couleurs foncées placées sur un fond de couleur claire sont mieux visibles que les couleurs claires placées sur un fond foncé. On atteint le meilleur résultat avec noir sur jaune.

Il résulterait donc de la recommandation de l'ISO/TC 80 que pour les avertissements de danger la meilleure combinaison serait noir sur jaune orangé. Cependant le problème n'est pas si simple que cela. En effet, les signaux se trouvent dans l'usine ou sur le terrain d'usine et ils ont été apportés contre un fond qui peut varier en couleur et en réflexion (réflexion par exemple entre 15 et 55 %). Or, nous devons voir ce fond comme la couleur jaune et le signal occupe la place de la couleur noire.

On cherche un signal dont la composition est telle qu'il donne dans des conditions variables en moyenne le meilleur résultat.

Le choix des schémas est un problème secondaire. Ce problème est dominé par les conditions suivantes :

1. — Reconnaissable en détail à une certaine distance. Supposant pour l'usine une distance de 5 à 25 m.
2. — Reconnaissable en détails en cas de conditions d'éclairage variables. Dans l'usine celui-ci est dans l'ordre de grandeur 50 — 500 lux.

En principe on était d'accord à l'ISO pour employer les schémas du B.I.T. proposés en 1956. Ces schémas seront surtout utilisés dans les avertissements de danger.

Le mot « avertissements de danger » a déjà été mentionné plusieurs fois. Tous les problèmes posés par la visibilité culminent dans ces signaux. Une fois

trouvées les directives pour la visibilité, celles-ci peuvent sans doute être appliquées sur les autres signaux. Par conséquent, je voudrais me limiter par la suite aux avertissements de danger.

A juger les schémas du B.I.T. du point de vue de la visibilité, on suppose la question suivante: « Est-ce que la forme et la grandeur de détail répondent à nos conditions de visibilité » ?

Nous avons appris d'une étude du docteur G. J. Fortuin sur « pouvoir visuel et visibilité » que l'on peut déterminer la visibilité des détails, selon des directives dérivées.

Bien qu'au premier contrôle il se trouvait que les schémas du B.I.T. ne répondaient pas tous aux conditions posées, nous n'avons pas voulu étudier ces schémas uniquement selon ces directives.

En partant du principe qu'en général il ne sera pas possible de munir les avertissements de danger d'un éclairage supplémentaire ou de les placer en transparence devant une source lumineuse, nous avons commencé une recherche en partant des rapports géométriques et de la combinaison des couleurs tels qu'ils ont été proposés par le délégué Tchèque, donc triangle avec bordure, avec des combinaisons de couleur bordure noire-aire jaune orangé, schéma noir.

Nous nous proposons de trouver l'intermédiaire de la détermination de la valeur seuil, des indications sur la visibilité.

La détermination de la valeur seuil s'effectue de la manière suivante:

On montre à un observateur à une distance déterminée des reproductions, dans des conditions variables.

Ces conditions sont les suivantes:

1. — Variation de l'intensité lumineuse (dans notre laboratoire, comprise entre environ 5 et 50 000 lux)
2. — Variation du temps d'exposition (0,1 à x seconde)
3. — Variation dans l'angle de vue (à partir d'environ 1 minute)
4. — Variation du contraste entre la reproduction et l'aire de fond (différence de réflexion).

Ces quatre possibilités de variation dans les conditions d'essai permettent de déterminer les condi-

tions dans lesquelles l'observateur ne reconnaît pas la reproduction.

La recherche statistique des résultats d'un certain nombre d'observateurs fournit des données pour établir la limite de visibilité.

Cette limite de visibilité sera étudiée en fonction des conditions de vision de l'observateur et est dépendante de l'acuité visuelle et de l'âge.

Dans notre cas nous avons admis que dans l'usine on doit tenir compte de personnes âgées de 60 ans.

Avec des reproductions bien choisies la méthode se prête à obtenir des données assez exactes. (x)

Outre les signaux conçus selon le projet tchèque, nous utilisons comme matériaux de comparaison des signaux dans d'autres combinaisons de couleur, cependant toujours avec bordure.

La première recherche s'attache à montrer:

1. — que l'on ne peut pas réduire tous les schémas du B.I.T. dans le même rapport en grandeur
2. — que les conditions de contraste selon le projet tchèque n'assurent pas de visibilité optimum du schéma.

En effet, il n'y avait que la tête de mort satisfaisante parmi les schémas.

Beaucoup de détails, souvent essentiels, se perdaient dans les autres schémas en cas d'observation à distance, ce qui a eu pour conséquence que ces schémas devenaient non identifiables.

Nous avons effectué notre recherche en tenant compte de ce qui suit:

- 1 — L'influence du contraste entre l'ambiance et le signal sur la visibilité du signal sans schéma.
2. — L'influence du contraste existant dans le signal, sur la visibilité du schéma.
3. — L'influence du contraste de l'ambiance et du signal sur la visibilité du schéma.

Nous considérons à ce sujet que la normalisation des signaux conduira à maintenir uniformes les dimensions de tous les signaux pour la même distance d'observation. Si nous voulions utiliser les schémas du B.I.T., nous devrions introduire des projets d'amélioration pour rendre les schémas équivalents en visibilité. En première phase, nous ne voudrions pas entamer cette question. Au lieu d'utiliser les schémas du B.I.T. nous avons alors employé des anneaux de Landolt qui sont beaucoup plus appropriés et qui permettent d'obtenir des résultats exacts.

Dans notre recherche nous avons ajouté encore une nouvelle considération à savoir:

« Peut-on indiquer une composition de couleur qui a la caractéristique d'en appeler au sentiment humain et à la réaction à provoquer? ».

EFFET EXPERIMENTAL

1. — Les dimensions du triangle ont été choisies de telle façon que l'anneau placé dans ce triangle soit vu sous un angle visuel de respectivement, 10—8 et 4' (distance 6 m, côté du triangle 67 mm, diamètre des anneaux: 20—15 et 7,5 mm)

x) Cette méthode de la « valeur-seuil » nous semblait utile en posant que la valeur minimum répondrait à la visibilité optimum aux conditions variées.

2. — Les combinaisons de couleur de la bordure et de la surface intérieure étaient les suivantes:

jaune orangé	noir
jaune orangé	blanc
noir	jaune orangé
noir	blanc
orangé	noir
orangé	blanc
noir	orangé

3. — Pour les anneaux on a choisi: jaune orangé, noir, orangé.

4. — Pour l'ambiance on a choisi deux nuances de gris avec un facteur de luminance de respectivement 15 et 55 %.

Dans les recherches antérieures, sur la visibilité, on a constaté que seule l'ambiance immédiate exerce une influence sur la visibilité. Une ambiance périphérique de 30×30 cm s'est suffisante.

Les triangles dans leurs 7 combinaisons ont été apposés chacun sur les deux surfaces ambiantes grises.

La couleur orangé a été introduite dans ces essais:

1. — Pour vérifier à nouveau nos propres expériences avec cette couleur dans les avertissements de danger.
2. — pour pouvoir donner réponse à la question du « pouvoir d'attraction ».
3. — pour des raisons de technique de couleur.

Quant à ce dernier aspect nous attirons l'attention sur le fait:

1. — qu'à l'observation à distance croissante, l'impression de la couleur devient plus forte.
2. — pour le jaune l'impression de la couleur devient au contraire plus faible.
3. — que la couleur orangé évoque des associations de l'âge primitif et que le jaune n'a aucune valeur de sentiment.

Dans l'expérience 2 nous avons montré aux personnes les triangles sans anneaux. Tous les triangles ont été juxtaposés dans des conditions appropriées. Les personnes devaient répondre à deux questions:

1. — ranger les triangles d'après votre idée selon l'ordre de visibilité.
2. — quels triangles pourraient à votre avis interpréter un avertissement de danger? Donner éventuellement un ordre de succession.

Dans l'expérience avec les anneaux incorporés on n'a pas intercalé la combinaison bordure noire surface intérieure blanche.

Le nombre de combinaisons a été porté à 30 par les 3 variables:

1. — combinaisons de couleurs bordure-surface intérieure
2. — couleurs de l'anneau
3. — couleurs de l'ambiance.

L'ouverture de l'anneau de Landolt a été répartie de façon arbitraire sur une bande de papier sur laquelle les triangles étaient établis.

La bande a été attachée sur un tambour rotatif. On a montré un triangle par exposition. Dans cette expérience on a déterminé les conditions de valeur de seuil par observateur pour chacune des 7 com-

binaisons de bordure-surface intérieure et schéma, à savoir :

1. — jaune orangé — blanc — jaune orangé
2. — jaune orangé — noir — jaune orangé
3. — jaune orangé — blanc — noir
4. — noir — jaune orangé — noir
5. — orangé — blanc — orange
6. — orangé — noir — orangé
7. — orangé — blanc — noir

L'ambiance gris-clair et gris-foncé ne nécessite pas de séparation ultérieure. Par analyse statistique des résultats nous espérons pouvoir donner des directives pour les combinaisons de couleurs avec la meilleure visibilité et avec un pouvoir d'attraction.

Dans une recherche ultérieure nous chercherons à réaliser des améliorations des projets des schémas du B.I.T. Nous partirons du principe que les pro-

jets améliorés en grandes lignes restent équivalents aux projets du B.I.T. Dans ce cas les schémas satisferont certainement à la condition d'être reconnaissables à distance.

Une autre question est de savoir si les schémas présenteront une association suffisante avec la notion à poser. Cependant nous ne nous attarderons pas sur ce problème dans notre recherche.

En effet, on peut également poser ce qui suit :

Les schémas sont une forme d'alphabet. Il existe déjà plusieurs d'alphabets analogues, par exemple :
la notation en musique
les schémas électriques

Par l'enseignement, ces alphabets sont appris, pourquoi pas de la même façon avec les schémas dans les avertissements de danger?

Il est dommage que par suite d'une maladie de l'expérimentateur il ne soit pas encore possible de communiquer les résultats, bien que ceci ait été dans nos intentions.



VISIBILITÉ DES PANNEAUX DE SIGNALISATION A USAGE INDUSTRIEL

Etude en vue de la détermination d'un critère de visibilité

par E. BARTHES

Ingénieur Radio-Electricien E.S.E.
Ingénieur au Service Technique
de la Compagnie des lampes.

Remarques préliminaires. — Notre but n'est pas d'effectuer une étude fondamentale sur la visibilité des panneaux de signalisation, mais simplement de trouver un critère permettant d'effectuer un choix parmi une série de panneaux.

Cette dernière est en effet toujours limitée par les usages ou codifications déjà en vigueur, par la nécessité d'utiliser des matériaux peu coûteux et faciles à se procurer, par les données déjà établies concernant la perception des contrastes de couleurs et plus généralement la vision.

De plus, l'expérience montre que les conditions aux limites de visibilité (valeurs seuils d'éclairement) sont normalement largement dépassées.

Il s'agit moins de caractériser un panneau par son aptitude à être vu aux éclairements faibles que de déterminer son pouvoir attractif dans les conditions réelles d'emploi.

En effet, il est hors de doute qu'en pratique, *si son attention est attirée sur lui*, l'observateur verra toujours le panneau sauf dans le cas d'éblouissement direct ou par réflexion sur le panneau lui-même.

Méthode expérimentale proposée.

Nous disposons de deux panneaux dont nous cherchons à caractériser le degré de visibilité — au sens défini plus haut.

L'un est triangulaire avec bordure noire et fond jaune. Le graphisme représentant la chute de pierres, est constitué par une flèche blanche dirigée vers le bas avec superposition de trois masses noires (les pierres).

L'autre est circulaire avec bordure rouge et fond blanc. Le graphique représente une usine (noire) en train de flamber (flammes rouges), signalant le danger d'incendie.

A partir de ces deux panneaux nous avons réalisé une série de 4 panneaux-pièges dont le graphisme différait du panneau de base, mais en conservait la forme générale.

A chaque observateur, pris dans un groupe de 10, nous avons présenté le panneau de base dont le sens lui était indiqué. Puis nous avons placé le panneau en essai au milieu des 4 panneaux-pièges et demandé à l'observateur, posté à 15 mètres, de repérer sa position.

Le temps mis par le sujet pour indiquer la position exacte du panneau de base au milieu des 5 panneaux disposés, a été pris comme critère de visibilité.

Chaque observateur a répété 5 fois l'essai.

L'éclairage uniforme des panneaux a été réalisé à 1 lux et 10 lux, d'abord en incandescence, puis au moyen d'une lampe à vapeur de mercure haute pression, à lumière corrigée (à ballon fluorescent).

Résultat des essais.

Le tableau qui suit résume nos essais. Pour chaque observateur nous avons pris la moyenne statistique des 5 essais successifs et ensuite calculé la moyenne statistique correspondant aux dix observateurs (pour cela nous avons utilisé une méthode graphique en employant un papier quadrillé Gausso-arithmétique. On porte en abscisse les temps mis par les observateurs, et en ordonnées les fréquences cumulées des résultats.

Dans une telle représentation, une série de résultats dispersés suivant une loi assimilable à une loi de Gauss se répartissent suivant une droite. Nous avons donc reporté sur le papier Gausso-arithmétique les temps expérimentaux, et tracé la droite correspondant sensiblement à l'alignement des points. (Cette dernière nous donne la valeur moyenne et l'écart-type des essais).

Temps moyen en secondes mis par les observateurs pour repérer le panneau en essai.

Panneaux		Triangulaire à fond jaune		Rond à bordure rouge	
Eclaircement		Incandescence	Mercure corrigé	Incandescence	Mercure corrigé
1 lux	moyenne	4,6	5	3,2	4
	écart-type	1,9	2,5	1,5	2,5
10 lux	moyenne	2,2	2,25	2,6	2,6
	écart-type	0,7	0,9	1,1	1,1

On sait que pour obtenir la quasi-certitude de repérage du panneau (par 99,73 % des observateurs) il faut adopter un temps égal à la valeur-moyenne, plus trois écarts-types, soit

Temps assurant la quasi-certitude de repérage du panneau

Panneau		Triangulaire à fond jaune		Rond à bordure rouge	
Eclaircement		Incandescence	Mercure corrigé	Incandescence	Mercure corrigé
1 lux		10,3	12,5	7,7	11,5
10 lux		4,3	4,95	5,9	5,9

CONCLUSION

Diverses conclusions sont à retirer de nos essais.

1. — Le temps mis par les observateurs pour repérer un panneau connu au milieu d'un certain nombre de panneaux-pièges, apparaît bien comme un critère valable de visibilité — nous pourrions dire de lisibilité — permettant le choix du panneau le plus favorable parmi une série de panneaux.

2. — Un contraste de couleur important — cas des panneaux à bordure rouge, fond blanc et graphisme noir et rouge — rend la lisibilité des panneaux moins sensible aux variations d'éclaircement.

3. — Par contre, aux niveaux d'éclaircements élevés, la valeur attractive du graphisme reprend son importance. Dans notre cas, le graphisme des pan-

neaux triangulaires apparaît plus vite reconnaissable après apprentissage du sujet.

Ceci nous confirme que dans la pratique, les valeurs-seuils d'éclaircement correspondant à la limite de perception des contrastes de couleur sont largement dépassées.

Adopter comme critère de visibilité ces valeurs-seuils d'éclaircement, ne rend pas exactement compte de la valeur attractive d'un panneau.

4. — Aux faibles niveaux d'éclaircement, les reflets colorés qui apparaissent sur les panneaux éclairés au moyen de lampes à vapeur de mercure et lumière corrigée gênent la lisibilité.

Il y aurait intérêt à utiliser des peintures mates ou plus simplement à incliner légèrement le panneau vers l'avant pour éviter ces reflets.

RÉSOLUTIONS DE LA SECTION 2

Lumière et couleur, facteurs d'hygiène, confort et sécurité du travail

Les congressistes ayant pris part aux travaux de la Section 2 émettent les vœux suivants :

1. — Que l'AFNOR soumette très prochainement à l'enquête publique un projet de norme des couleurs de sécurité répondant aux recommandations préparées par le Comité ISO/TC 80.

2. — Estiment qu'en l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible de donner dès maintenant des directions définitives quant à l'exécution des schémas de sécurité, à l'exclusion de certains principes bien établis, notamment que le schéma doit être de teinte plus foncée que le fond sur lequel il est dessiné et également qu'il est souhaitable que les panneaux comportent une bordure de même teinte que le schéma, le noir donnant le maximum de contraste et, par conséquent, de rapidité de perception.

3. — Proposent que, conformément aux suggestions présentées par M. Baumgardt, l'étude de la visibilité des signaux s'accompagne d'un apprentissage préalable des sujets appelés à faire l'objet de tests de visibilité et d'intelligibilité.

4. — Font remarquer que les études en cours sur la visibilité des panneaux de signalisation doivent tenir compte de la nature des surfaces colorées et de l'état de ces surfaces (en particulier dans le cas des surfaces réflectorisantes).

5. — Suggèrent que le C.I.C. établisse une liaison directe avec tous les chercheurs intéressés à ces problèmes, dans le cadre de sa collaboration avec l'AFNOR.

6. — Souhaitent que les entreprises publiques ou privées désignent dans leur personnel un responsable de l'équipement par couleurs, de leurs locaux, que ce responsable en assure la conservation, particulièrement en ce qui concerne les couleurs de sécurité, et le renouvellement dans les conditions prescrites.

7. — Souhaitent la confection, pour les couleurs à utiliser dans les établissements industriels, de catalogues réalisés dans le même esprit que ceux présentés par le représentant du Ministère de la Défense Nationale et qui ont été établis en étroite collaboration avec l'AFNOR et le C.I.C. Demandent au C.I.C. de mettre en route les études nécessaires.

8. — Insistent sur l'importance de l'éclairage en matière d'emploi des couleurs et sur la nécessité d'une liaison de plus en plus étendue avec l'AFNOR, l'Association Française des Eclairagistes et la C.I.E.

9. — Appuient le vœu formulé par M. Robin, tendant à l'établissement de recommandations relatives à l'éclairage des œuvres d'art en vue d'éviter leur détérioration lors de leur exposition publique.

SECTION III

ENSEIGNEMENT DE LA COULEUR

Président : M. le Professeur Yves LE GRAND, Président
du Centre d'Information de la Couleur;
Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

Rapporteur : M. GILLOD, Chef du service des Recherches
optiques au Laboratoire National d'Essais.

ENSEIGNEMENT DE LA COULEUR

M. le Professeur Yves Le Grand, remplaçant M. le Professeur Fleury, empêché, préside la séance.

M. Gardellini, représentant officiellement M. René Billères, Ministre de l'Éducation Nationale, réhausse par sa présence l'intérêt attaché officiellement à la question de l'Enseignement de la couleur.

Un projet concret d'Enseignement, de caractère général, donc interprofessionnel, avec esquisse d'un programme est présenté par le rapporteur M. Gillod. M. Auwillain se plaçant sur un terrain professionnel exprime ce qu'est déjà et ce que peut être un enseignement dans le domaine de la photographie. M. Nampou montre l'intérêt d'un enseignement conjugué lumière-couleurs.

DISCUSSION

M. Arzens, très partisan d'un enseignement de la couleur et s'appuyant sur une expérience commencée en Belgique, met en garde contre les faux-pas et recommande une certaine prudence dans ce domaine très vaste. Il souhaite que l'enseignement de la couleur soit introduit dans les trois ordres d'enseignement :

A — primaire (notions très simples sans appareil mathématique ou physique, sortes de leçons de choses). B — secondaire (couleur des corps par absorption ou réflexion sélective). C — supérieur.

M. Reingold signale qu'un enseignement jugé indispensable a été créé à l'Armement pour les besoins du personnel.

Mme Jonkheere souhaite la création d'un C.A.P. de coloriste.

M. le Président Yves Le Grand pense qu'il s'agit là d'une question de spécialiste et que les Syndicats doivent s'y intéresser. Il en est de même pour d'autres spécialités. Mais tout cela, comme le préconise M. Gillod, aurait intérêt à être appuyé par un enseignement de base de caractère fondamental et général, valable pour toutes les professions s'intéressant à la couleur.

M. Tendron souhaite un enseignement de la photographie. C'est un enseignement de spécialiste, assez vaste cependant, puisqu'il intéresse non seulement les photographes professionnels, mais les amateurs, les physiciens, etc... Le sujet est d'ailleurs traité précisément dans sa communication par M. Auwillain.

M. Bertrand souhaite un laboratoire de colorimétrie; certains pourraient y effectuer des travaux pratiques complétant l'enseignement donné; les appareils de colorimétrie, spectrophotomètres, y seraient réunis, permettant à l'usage du public les essais, mesures, étalonnages qui ne seraient pas à la portée des particuliers.

M. Yves Le Grand, Président, abonde dans ce sens et fait remarquer qu'il existe déjà un laboratoire de ce genre au Laboratoire National d'Essais du C.N.A.M. Il suffirait de le compléter par les acquisitions nécessaires et de créer les travaux pratiques. Ce serait un complément très heureux de l'Enseignement de caractère général éventuellement donné au C.N.A.M.

M. Gardellini, vivement intéressé, promet de présenter ces suggestions à M. le Ministre de l'Éducation Nationale.

NECESSITÉ DE L'ENSEIGNEMENT INTERPROFESSIONNEL DE LA COULEUR

par M. GILLOD

*Professeur agrégé de Physique,
Chef du Service Optique
au Laboratoire National d'Essais*

Dans tout Congrès il y a des conférenciers et des auditeurs, des questions posées, des réponses et des discussions de couloir. Quand il s'agit de couleurs l'expérience montre que la lumière ne jaillit pas toujours de ces confrontations. Très souvent les interlocuteurs renonçant à se comprendre se retirent courtoisement sur leurs positions respectives.

C'est que les problèmes relatifs à la couleur sont fort complexes et intéressent une foule de techniciens, fabricants, usagers appartenant à des professions très variées. Les préoccupations de chacun sont différentes et chacun a une tendance invincible à envisager les problèmes sous un angle qui lui est propre. Chacun sent confusément la nécessité d'un lien, d'un langage commun, d'un fil conducteur qui souvent lui échappe parce qu'on s'évade difficilement des routines du métier.

Ce fil conducteur, il semble qu'un enseignement général des phénomènes relatifs à la lumière et à la vision des corps colorés soit seul susceptible de le donner. Cet enseignement destiné aux ingénieurs, techniciens et usagers de la couleur ne serait pas de caractère technique; il ne serait pas question par exemple d'apprendre à broyer et à mélanger des pigments ou de confectionner la photographie des couleurs, mais d'étudier les lois qui régissent les phénomènes lumineux physiques et physiologiques.

Les phénomènes relatifs à la lumière et à la vision des couleurs revêtent un double aspect physique et physiologique et même un troisième aspect d'ordre psychologique. Il importe de bien connaître et comprendre les liens entre ces divers aspects. Tel serait le but d'un enseignement de la couleur. Voici à titre indicatif quel pourrait être le plan de celui-ci.

PREMIERE PARTIE

Etude physique de la lumière.

PREMIER CHAPITRE. — Nature de la lumière. Longueurs d'onde des radiations lumineuses. Analyse de la lumière par les prismes et les réseaux. Mesure d'une intensité lumineuse. Mesures visuelles. Mesures énergétiques.

DEUXIÈME CHAPITRE. — Sources de lumière. Lumière du jour. Lumières artificielles.

DEUXIEME PARTIE

L'œil et la vision des couleurs.

CHAPITRE PREMIER. — Anatomie de l'œil. Vision des couleurs. Hypothèse de Young. Sensibilité relative de l'œil aux diverses radiations. Anomalies œil moyen standard.

DEUXIÈME CHAPITRE. — Lumière monochromatique. Lumière blanche. Lumière colorée complexe. Mesure d'une sensation colorée par les coefficients trichromatiques ou par la longueur d'onde dominante et le facteur de pureté. Principe des colorimètres.

Propriétés du triangle des couleurs. Applications. Pourquoi le triangle des couleurs ne fournit qu'une solution partielle du problème de la mesure des couleurs.

TROISIÈME CHAPITRE. — Couleur des corps observés par transparence ou par réflexion. Transmissions et réflexions sélectives.

TROISIEME PARTIE

Mesure des couleurs par les méthodes spectrophotométriques.

PREMIER CHAPITRE. — Principe et réalisation des spectrophotomètres.

DEUXIÈME CHAPITRE. — Représentation des couleurs par les courbes spectrophotométriques.

Passage à la représentation dans le triangle des couleurs. — Pourquoi la représentation spectrophotométrique, indépendante de l'œil, résout complètement le problème de la mesure des couleurs.

Possibilités pratiques de création d'un enseignement de la couleur.

Je ne puis ici que faire quelques suggestions sur les possibilités de créer un enseignement dont je viens d'esquisser les grandes lignes.

Monsieur le Directeur du Conservatoire National des Arts et Métiers a bien voulu nous recevoir et s'entretenir avec nous de ce sujet avec la plus grande bienveillance et la plus grande compréhension. Il résulte de notre conversation qu'un enseignement de la couleur pourrait entrer dans le cadre des enseignements spécialisés dispensés au Conservatoire.

Sur la demande du Centre d'Information de la Couleur et des organismes intéressés, le Conservatoire National des Arts et Métiers pourrait éventuellement fournir les locaux et dans la mesure des moyens existants, le matériel d'enseignement nécessaires. Les cours auraient lieu le 2^e semestre de l'année scolaire, l'ordre de grandeur des frais à engager et qui devraient, dans les débuts tout au moins, être pris en charge par les organismes intéressés, serait de 300 000 francs environ, destinés, pour la plus grande part, à la rémunération du Professeur chargé du cours.

Par la suite, si une fréquentation assidue, démontre l'intérêt du maintien de ces cours, l'Etat pourrait éventuellement prendre cet enseignement à sa charge.

Je suis convaincu personnellement qu'un enseignement de base constituant une révision des connaissances définitivement acquises dans le domaine des perceptions de la couleur et de leurs relations avec certaines lois physiques, contribuerait dans une large mesure à dissiper bien des malentendus, à provoquer des ralliements à des méthodes encore considérées parfois avec scepticisme — et en définitive à des progrès rapides dans l'unification des méthodes de mesure et de contrôle des couleurs.

POUR UN ENSEIGNEMENT DE LA COULEUR EN PHOTOGRAPHIE

par M. AUVILLAIN

*Président du Bureau de Normalisation
de la Photographie*

*Vice-Président de la Société Française
de Photographie*

Lorsqu'aux premières journées internationales de la Couleur, organisées à Amiens au mois de mai 1957, le problème de la nécessité d'un enseignement de la couleur fut posé, le débat qui s'ensuivit n'aboutit qu'à des conclusions théoriques, et il ne pouvait d'ailleurs pas en être autrement. Le sujet était complexe et il ne fallait évidemment pas s'attendre à ce que des solutions concrètes soient trouvées au cours de l'échange de vues qu'il avait suscité. Celui-ci n'en fut pas moins fructueux et cette initiative eut au moins le mérite d'attirer l'attention de tous ceux qui assistèrent aux Journées sur cette question digne d'intérêt. Il fallait donc s'attendre à quelques tentatives de réalisation pratique dans des domaines où la couleur joue un rôle particulièrement important. La photographie est l'un d'eux, et les organisateurs de ces nouvelles Journées ont pensé qu'il vous intéresserait peut-être que vous soyez exposées les bases sur lesquelles un enseignement de la couleur a été entrepris, et communiqués quelques-uns des résultats déjà obtenus.

Il faut dire que ceux qui ont pris cette initiative disposaient déjà d'éléments favorables. Il existait en effet une Association dont l'activité est en grande partie, et depuis très longtemps déjà, consacrée à l'enseignement de la photographie. Il s'agit de la Société Française de Photographie, dont l'origine remonte à 1854, et qui fut la première à créer un cours de photographie qui s'est poursuivi sans interruption depuis sa fondation en 1888. D'autre part, au sein de la Société Française de Photographie également, s'est constitué il y a plusieurs années un « Cercle de la Couleur » groupant des professionnels et des techniciens dont l'activité principale est la photographie en couleur. Les organisateurs de ce Cercle avaient lors de sa création, estimé que le développement de la photographie en couleur, par suite de l'apparition de nouveaux procédés, devait être non seulement favorisé mais aussi guidé. Il devenait donc nécessaire de réunir en un groupe de travail ceux qui participaient activement à cette évolution, techniciens et utilisateurs, pour leur donner le moyen d'être tenus au courant des progrès réalisés et de se perfectionner dans l'emploi des différents procédés, et d'y apporter le cas échéant des améliorations utiles.

C'est ainsi qu'avec M. Dérivé qui en plus de ses connaissances étendues dans les domaines les plus variés, est aussi un excellent photographe, nous avons entrepris la réalisation d'un enseignement de la couleur adapté à la photographie. Dans ce but nous avons tout d'abord assuré une liaison étroite entre le Centre d'Information de la Couleur et le Cercle de la Couleur.

Avant de vous exposer quelles ont été les premières réalisations effectuées dans le cadre de ce projet, il n'est pas inutile de donner quelques précisions

sur l'enseignement de la photographie en général, tel que nous le concevons.

Parlant de la photographie en 1935, lors du Jubilé scientifique de son confrère de l'Institut Louis Lumière, le grand physicien Charles Fabry a dit que c'était à la fois une science, une technique et un art. Cette définition très exacte ne doit pas être perdue de vue de tous ceux qui se consacrent à la formation professionnelle des photographes, car la photographie est devenue un véritable métier qu'il faut apprendre malgré les facilités apparentes apportées par les perfectionnements successifs et importants dont elle a été l'objet depuis son invention datant d'un peu plus d'un siècle.

C'est donc au triple point de vue, scientifique, technique, artistique, qu'un enseignement complet de la photographie doit être envisagée. Scientifique, parce qu'il faut absolument insister sur le fait que la photographie échappe maintenant au domaine de l'empirisme. Les différentes opérations qui se succèdent depuis la formation de l'image dans la chambre noire jusqu'à l'obtention définitive de l'épreuve positive ne sont plus mystérieuses depuis longtemps déjà. Si la photographie, tout au moins en ce qui concerne son utilisation, n'a pas dans beaucoup de cas, perdu son caractère artisanal, il n'en est pas moins vrai qu'elle obéit à des règles maintenant bien connues et que les soi-disant secrets des vieux praticiens sont périmés. Les photographes modernes qui exercent correctement leur métier disposent, de nos jours, de tous les moyens nécessaires pour travailler rationnellement, qu'il s'agisse par exemple de mesurer les brillances des principales parties d'un sujet, de contrôler l'activité des bains de traitement par la mesure de leur pH ou d'utiliser un densitomètre pour effectuer des tirages positifs corrects sans perte de temps ou gaspillage inutile. Ils doivent aussi être familiarisés avec les principes d'une source relativement récente: le sensitomètre.

Technique, parce que les procédés sont en constante évolution, parce qu'il s'en crée sans cesse de nouveaux, parce que les matériels se perfectionnent sans arrêt. Pour ne citer qu'un exemple, le photographe d'autrefois développait ses plaques dans une cuvette plate qu'il balançait doucement suivant un rythme déterminé. Cette opération se fait maintenant selon une technique précise (température constante, etc...). Seules de bonnes conditions techniques permettent d'assurer la qualité des travaux en abaissant leur prix de revient dans une profession où les compétitions sont sévères.

Artistique enfin parce que la photographie est un métier d'art et qu'une bonne culture, si elle n'est pas indispensable, est cependant fort utile dans beaucoup de domaines où la photographie joue un rôle

de plus en plus important : Publicité, illustration, reportage, etc...

C'est à partir d'un enseignement général de la photographie que peut être établi un programme rationnel convenant plus particulièrement au cas de la couleur, programme dont nous pouvons maintenant donner les éléments essentiels.

L'enseignement de la couleur en photographie doit être considéré comme complémentaire de celui de la photographie.

— En premier lieu, exposé sur la sensibilité chromatique de l'œil et la trivariance de la vision en couleur.

— Notions de colorimétrie. Etude du mélange des couleurs dans le cas particulier de la trichromie.

Le problème du mélange des couleurs est particulièrement complexe en photographie, car seule trois couleurs primaires peuvent être utilisées. C'est en fonction de ces trois couleurs que doit être déterminée la composition d'une dominante à éliminer. La recherche de la correction au moyen de trois filtres, chacun d'une des trois couleurs primaires, mais dont la densité peut varier, est une opération longue et délicate qui exige un long entraînement, de nombreux essais, une fâcheuse perte de temps et un supplément de frais. La détermination du filtrage correct peut évidemment être obtenu au moyen de dispositifs perfectionnés qui malheureusement, en raison de leurs prix élevés ne sont pas encore à la portée de la grande majorité des photographes. Il nous est donc apparu nécessaire d'éduquer l'œil des opérateurs pour faciliter leur tâche. C'est pourquoi une étude du mélange des couleurs, incluse dans l'enseignement que nous essayons de réaliser, est obligatoirement prévue. Nous devons ajouter que cette importante question n'est pas encore bien au point, mais nous espérons aboutir d'ici peu à une solution satisfaisante.

— Une autre partie du cours doit être consacrée à l'étude de la lumière en insistant sur sa composition spectrale et la notion de « température de couleur ». Elle doit être complétée par la description des différentes sources lumineuses susceptibles d'être utilisées en photographie.

— La sélection s'opérant maintenant, non plus par le moyen de filtres, mais par le jeu de la sensibilité chromatique des couches superposées, quelques renseignements concernant celle-ci peuvent être donnés. Evidemment, conférer à une émulsion photographique un maximum de sensibilité pour un domaine spectral déterminé est une opération qui ne concerne pas le photographe, mais il n'est pas inutile qu'il possède quelques renseignements à ce sujet.

L'étude de la sensibilité chromatique doit être complétée par un rappel des principes essentiels de la sensitométrie : traduction correcte des intervalles de luminosité des sujets (1 à 50).

— Examen des différents procédés actuellement utilisés avec description des techniques employées. Cette partie de l'enseignement est appelée à être constamment modifiée en raison de tous les progrès qui peuvent être réalisés et de l'apparition de techniques nouvelles.

— Description et étude du matériel le mieux approprié à la photographie en couleur : appareils de prise de vue, objectifs, accessoires divers tels que les posémètres.

Les problèmes concernant la netteté ne se posent pas de la même façon pour la photographie en noir et blanc, et la couleur.

Etude critique du matériel de laboratoire plus spécialement adapté au traitement des couches sensibles pour la photographie en couleur, en insistant sur le fait que la technique du traitement doit obéir à des règles plus strictes que celles observées pour la photographie en noir et blanc, notamment la température des bains, leur durée d'action et leur degré d'usure.

En ce qui concerne la formation artistique du photographe, il est quelques principes dont le rappel est indispensable. Tout d'abord il faut insister sur le fait que la couleur d'un corps dépend à la fois de son absorption sélective et de la composition spectrale de la lumière émise par la source qui l'éclaire. Par le jeu d'un processus purement subjectif, la perception des couleurs d'un ensemble d'objets est, dans une certaine mesure, indépendante de l'éclairage. Tout se passe donc comme si l'œil modifiait sa sensibilité spectrale pour compenser la variation de température de couleur de la source. Cette adaptation n'a d'ailleurs lieu que progressivement et sous certaines conditions, et surtout elle ne joue pratiquement pas lors de l'examen d'une photographie en couleur.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier que la reproduction est vue souvent dans des conditions différentes de l'original. L'ambiance dans laquelle la reproduction est examinée est sans influence sur la couleur de l'image, mais elle peut intervenir pour la sensation colorée produite par celle-ci ; il n'est pas exagéré de dire que la reproduction la plus exacte d'un original ne produit pas nécessairement l'impression la plus fidèle. Cette constatation n'avait pas échappé à Chevreul qui déclarait que « pour être exact, il faut peindre les choses colorées non comme elles sont en réalité, mais comme elles ne sont pas ».

Un cours complet de photographie en couleur doit aussi comprendre l'étude de quelques questions d'ordre purement artistique, dont le développement doit, à notre avis, être plutôt confié à un peintre qu'à un technicien. Il s'agit de l'influence des couleurs les unes sur les autres, l'effet des contrastes qui permet suggestivement de changer l'apparence optique des tons et des teintes sans modifier leur composition naturelle. Le même Chevreul a parfaitement défini les lois du contraste simultané en disant ceci : « Mettre de la couleur sur une toile, ce n'est pas seulement colorer de cette couleur la partie de la toile sur laquelle le pinceau a été appliqué, c'est encore colorer de la complémentaire de cette couleur l'espace qui lui est contigu ». (Juxtapositions des tons).

Lorsqu'il s'agit de la photographie en noir et blanc, on ne tient compte que des lignes et des valeurs. Dans la composition d'une image polychrome, il faut ajouter les couleurs, d'où la nécessité d'énoncer de nouvelles règles.

Enfin, le photographe doit aussi éduquer, si besoin est, son client. Il ne faut pas oublier que les procédés présentent encore quelques lacunes et qu'il faut concilier les possibilités techniques actuelles avec les règles essentielles de la composition en couleur. Actuellement la reproduction simultanée de plusieurs couleurs différentes peut présenter encore quelques difficultés qui ne pourront être vaincues que par l'amélioration de la technique. En photographie publicitaire par exemple, les combinaisons de couleurs doivent être choisies en fonction des possi-

bilités d'obtenir une traduction correcte. Traduction correcte des intervalles de luminosité. Pour la couleur 60 au maximum.

Le programme tel qu'il est actuellement envisagé, ne peut être que provisoire. Il ne s'agit encore que d'une tentative pour créer un enseignement le plus rationnel possible. Seuls, l'expérience de plusieurs années, les réactions des élèves et les résultats obtenus, sans parler de l'évolution de la technique qu'il est encore impossible de prévoir, permettront la mise au point des grandes lignes de cet enseignement.

Nous avons seulement voulu attirer l'attention sur ce premier essai. Un début de réalisation nous a

déjà donné d'utiles renseignements et aussi de précieux encouragements.

Actuellement le Cercle de la Couleur se réunit une fois par mois. Trois leçons ont déjà été données;¹ elles se poursuivront jusqu'à l'été. Dès le mois d'octobre, nous reprendrons ces cours, cette fois avec un programme précis qui tiendra compte de nos premiers essais. Ce sera une deuxième étape qui nous conduira très certainement à augmenter le nombre des leçons. Nous ne manquerons pas, lors des futures Journées de la Couleur, de vous rendre compte des résultats obtenus et aussi des erreurs que nous commettrons certainement. Nous accueillerons d'ici-là, avec plaisir, toutes les suggestions que vous pourrez nous faire à ce sujet.

INTÉRÊT D'UN ENSEIGNEMENT CONJUGUÉ

« LUMIÈRE-COULEUR »

(Résumé de l'intervention de M. NAMPON)

Secrétaire général du Comité Français de l'Eclairage

Les sensations de lumière et de couleur étant indissociables, il ne paraît pas possible qu'un enseignement soit consacré à l'une de ces disciplines seule.

Le but de la communication est de présenter un aspect très particulier de cet enseignement. Il est hors de doute que si beaucoup de personnes savent que l'aspect de couleur d'un objet dépend essentiellement de la source de lumière utilisée, bien peu ont conscience de la nécessité de tenir compte de ce fait dans la vie courante.

Depuis l'apparition de la lampe fluorescente qui permet d'obtenir des sources de lumière « blanche » de compositions spectrales très différentes, on a pu constater dans de nombreuses installations d'éclairage des erreurs, soit dans le choix de la lampe, soit dans le choix de la peinture des murs.

Il paraît donc nécessaire que des informations soient diffusées à ce sujet aussi largement que possible. Il convient, en fait, de toucher l'utilisateur et l'installateur.

Divers procédés peuvent être employés à cet effet. Mais si on se limite à l'enseignement proprement dit, il conviendrait de prévoir quelques conférences dans toutes les écoles techniques et de commencer à intéresser les enfants à ces problèmes dès l'école primaire.

Il serait souhaitable que la discussion permette de préciser les moyens qui seraient à mettre en œuvre pour obtenir ce résultat.

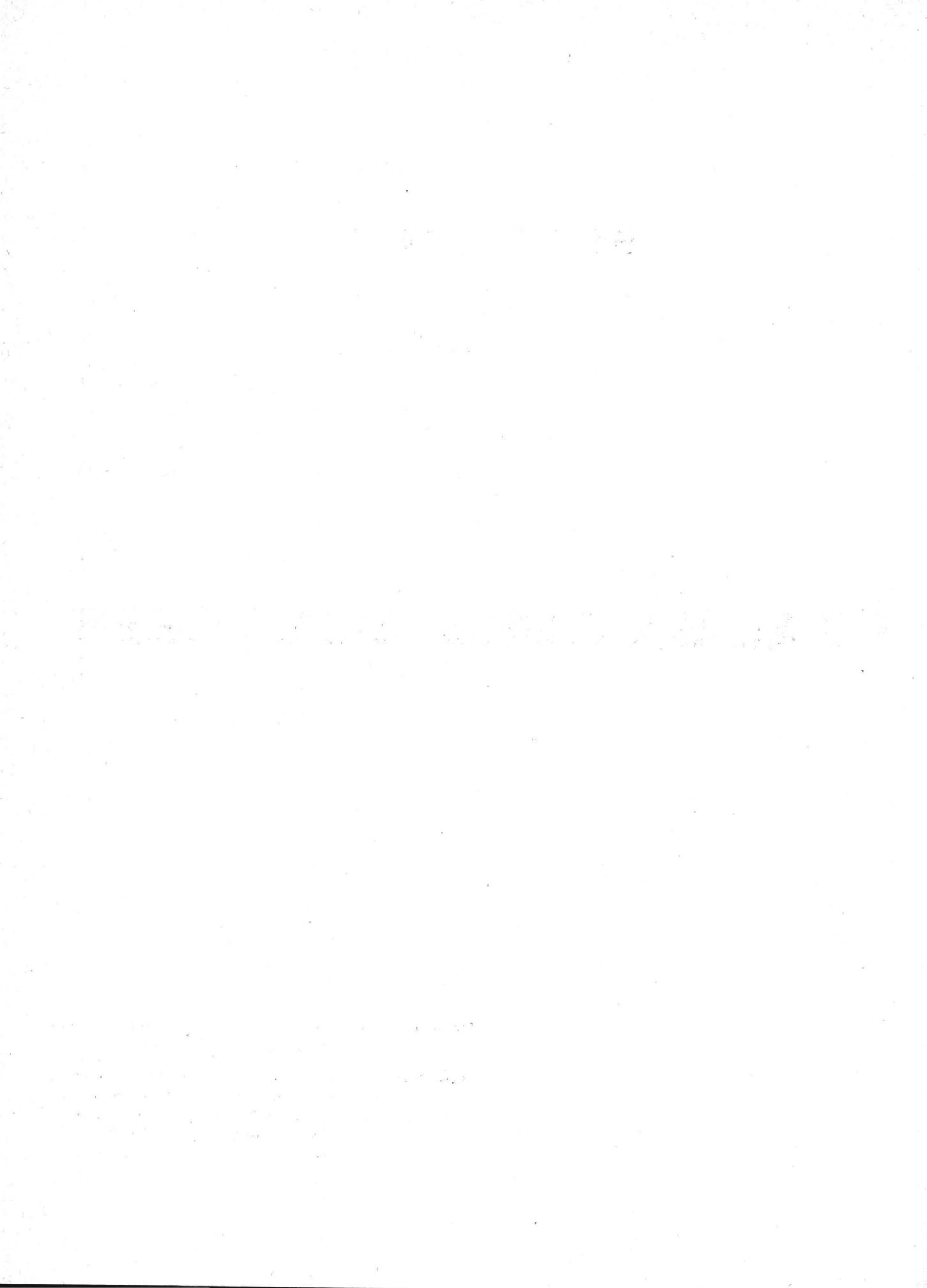


SECTION IV

RÉALISATIONS COLORÉES

Président : M. DÉRIBÉRE, Secrétaire général du Centre d'Information de la Couleur.

Rapporteur : M. BABONNEAU, Docteur de l'Université; Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles Lettres de Toulouse; Ingénieur à l'Electricité de France.



LA COULEUR DANS LA CARTOGRAPHIE

L'EMPLOI DES COULEURS EN CARTOGRAPHIE

par H. GAUSSEN

*Directeur du Service de la Carte Phytogéographique
(C. N. R. S.)*

Les couleurs ont été utilisées de tout temps en cartographie, de façon plus ou moins heureuse, et on obtient ainsi des cartes agréables à l'œil ou non. La couleur est faite pour séparer nettement ce qu'on veut distinguer. Le type le plus frappant est la carte des départements français. Les cartographes peuvent affecter une couleur à chacun et éviter que deux départements voisins aient la même couleur. On obtient une carte bien lisible mais affreuse. Les cartographes qui ont du goût se gardent de ce baroïlage et utilisent la couleur uniquement pour les limites des départements.

CARTES GEOLOGIQUES. — Les départements représentent un phénomène discontinu. Au même type de problème, appartiennent les cartes géologiques. Les affleurements des terrains des divers âges sont strictement limités dans l'espace. Mais, si on a affaire à une série stratigraphique complète, il y a un phénomène continu; c'est l'âge des terrains. La discontinuité d'âge se manifeste s'il y a une lacune stratigraphique.

D'autre part les géologues ont adopté une hiérarchie pour les étages géologiques. Ils les ont réunis en périodes et il est légitime d'accorder une couleur pour une période, par exemple le vert pour le Crétacé; les divers étages du Crétacé pourront avoir diverses nuances de vert. La série continue sera celle des périodes. Dans les cartes à petite échelle, les géologues ont adopté le violet pour le Trias, le bleu sombre pour le Lias, le bleu pour le Jurassique, le vert pour le Crétacé et divers jaunes pour le Tertiaire.

Ce sont là des couleurs heureuses car chacune est intermédiaire entre les deux qui l'entourent. Les terrains primaires sont en teintes marron et les épanchements volcaniques en teintes violentes. La carte de France à 1/1 000 000 est ainsi très harmonieuse surtout à cause du Bassin de Paris dont les auréoles concentriques suivent les couleurs de l'arc-en-ciel.

Dans les cartes à grande échelle la question n'a pas été résolue de la même façon. On a voulu éviter

les cartes monochromes quand des terrains d'une même période couvrent la surface entière d'une feuille. On a alors intercalé d'autres couleurs et la règle n'est plus suivie.

D'autre part, pour faire apparaître les pointements de roches spéciales surtout éruptives, on utilise pour eux des couleurs très violentes.

Les couleurs des géologues sont devenues classiques. Il est parfaitement inutile de les critiquer, mais on peut regretter, comme je l'ai déjà fait en 1949, qu'ils aient affecté la couleur à l'étage et non au faciès lithologique. Les usagers de la carte, il y a sans doute plus de non géologues que de géologues, auraient été intéressés par une carte des faciès. Au lieu de mettre en couleur l'étage et indiquer le faciès par des lettres noires, il eût été plus commode de mettre en couleur le faciès et en surcharge l'étage. Géographes, pédologues, topographes, botanistes, agronomes, ingénieurs des travaux publics, cherchent à distinguer les roches dures de celles qui sont tendres, les calcaires, les marnes, et sont plus indifférents à l'âge géologique des affleurements.

CARTES CLIMATIQUES. — Nous arrivons ici à la représentation de phénomènes continus sur la carte. Prenons la précipitation moyenne annuelle qui à petite échelle est un phénomène continu. A petite échelle, on peut cartographier avec une seule couleur: on utilise en général le bleu qu'on fonce de plus en plus pour arriver à une teinte plate bleue sombre ou même violette.

A plus grande échelle, on peut considérer qu'il y a deux phénomènes à partir d'une valeur moyenne, d'une part, les précipitations fortes allant vers les grandes humidités, d'autre part, les précipitations faibles allant vers les grandes sécheresses.

Il est valable de prendre l'ensemble de l'arc-en-ciel du milieu au violet vers l'augmentation, du milieu au rouge vers la diminution. Le milieu est le vert qu'on peut laisser très clair ou même supprimer.

Dans la carte des précipitations de la France à 1/500 000', la moitié bleue représente ce qui reçoit

plus d'1 m d'eau, la moitié orangé ce qui reçoit moins de 900 mm. Le vert a été supprimé.

Dans les cartes d'Afrique du Nord à la même échelle, le vert a été utilisé entre 900 et 1000 mm.

AUTRES CARTES. — Avant de choisir la gamme des couleurs, il faut étudier la nature du phénomène à représenter. Les Atlas divers donnent des exemples de bon et de mauvais emploi des couleurs.

Prenons l'*Atlas de France*: voici quelques bonnes légendes et quelques mauvaises. Qu'on ne voie ici aucune malveillance pour une très belle œuvre à laquelle j'ai collaboré. Les mauvaises couleurs ont été changées à la deuxième édition.

Première édition: N° 20. — L'échelle des indices et coefficients d'écoulement est mal choisie: du jaune moyen vers le vert d'un côté ce qui est bien, et du jaune passant directement à des bleus de l'autre, ce qui est mauvais.

N° 38. — Les cartons ont une gamme: jaune, orangé, vert clair, vert foncé; c'est fâcheux.

N° 72. — La gamme: bleu, bleu clair, jaune, rose, rouge, marron sombre, est inacceptable pour une carte de densité de population par canton. Les cantons jaunes font des taches insolites au milieu du reste. Il y a ici un phénomène assez continu qu'il faut traiter par la moitié de l'arc en ciel ou une seule couleur de plus en plus foncée (1).

Nouvelle édition: N° 62. — 2 à 3 n'est pas intermédiaire entre 1,5 à 2 et 3 à 4.

De même: 5 à 6 n'est pas intermédiaire entre 4 à 5 et 6 à 16,2.

SCHRADER fut un de nos meilleurs cartographes et sa carte des Pyrénées espagnoles est un des chefs-d'œuvre de la Cartographie. L'Atlas VIDAL DE LA BLACHE a aussi un bon choix de couleurs.

On peut dire que c'est maintenant presque d'instinct que les cartographes savent colorier leurs cartes.

LA COULEUR FACTEUR DE SYNTHÈSE

Tout ce qui est dit jusqu'ici concerne uniquement l'esthétique et la lisibilité des cartes. Mais la couleur a d'autres utilités et c'est l'originalité de la cartographie que je préconise que de donner une signification à la couleur comme représentant un facteur du milieu.

L'avantage des couleurs est qu'elles peuvent se superposer et même théoriquement, si chaque facteur du climat, par exemple, était représenté par une couleur, la complexité du climat pourrait apparaître par la superposition des couleurs élémentaires si elles étaient convenablement dosées. La couleur n'est plus placée ici pour des considérations esthétiques ou pour séparer des unités différentes, elle possède une signification propre pour une synthèse.

Mais ici apparaissent deux difficultés: il faut d'une part superposer plusieurs couleurs, d'autre part les doser convenablement.

Superposer plusieurs couleurs est difficile, plus de trois ne donne pas de résultat acceptable et pourtant, il faut considérer plus de trois facteurs à représenter.

D'autre part, il faut doser la couleur. Certains facteurs sont plus importants que d'autres: il faut leur donner une couleur plus efficace dans la synthèse.

Ces deux difficultés peuvent être fortement atténuées par l'emploi des lois du minimum et du maxi-

mum. Il y a lieu de mettre une couleur vive pour représenter un facteur s'il est important. S'il ne l'est pas, il faut une couleur très légère ou pas de couleur du tout.

Un facteur indispensable à la vie est important s'il est près de sa valeur minima. Tout facteur est important s'il est près de sa valeur maxima. Par exemple au désert, l'humidité est à son minimum: c'est elle qui règle de façon impérieuse la vie au désert. Par contre, la température est partout suffisante. Elle est parfois nocive si elle est à son maximum.

Les facteurs non indispensables à la vie: vent, neige, etc., n'intéressent que par leurs valeurs maxima.

Si on convient de mettre une couleur très claire pour les valeurs moyennes et des couleurs vives pour les valeurs extrêmes qui sont déterminantes, on peut fort bien obtenir des synthèses de couleur acceptables.

S'il s'agit de végétation, il se trouve qu'une haute température, une très forte lumière, une forte sécheresse ont des effets physiologiques analogues; on peut convenir de leur attribuer des couleurs voisines.

Reste à choisir les couleurs.

Il est de tradition de choisir le bleu pour l'eau et l'humidité, ce qui prouve que les idées dont je parle ne sont pas absolument originales. Pour représenter la sécheresse, il faut prendre l'autre moitié du spectre et l'orange ou le rouge seront employés.

Des couleurs claires autour du jaune et du vert correspondent aux conditions moyennes.

Chaque facteur indispensable aura la gamme complète d'un spectre à couleurs très légères en son centre, les facteurs non indispensables qui n'ont d'intérêt que par leur maximum sont représentés par la moitié du spectre.

Sans mettre de couleur, on peut mettre en surcharge des signes de couleur. Par exemple l'importance de la période de sécheresse peut être exprimée par un nombre. On mettra des signes à valeur statistique, d'autant plus serrés que le nombre sera plus grand.

Ayant réalisé la synthèse climatique et, au besoin, édaphique sur la carte, la végétation naturelle qui en dépend sera représentée par une couleur qui sera raisonnée et valable. Si en deux points du monde on trouve la même couleur, on peut affirmer que les flores naturelles et introduites sont interchangeables.

C'est en captivité de 1915 à 1918 que j'ai fait une étude approfondie de la méthode qui se révèle à la fois synthétique et analytique.

1. — Synthétique: en superposant sur le même fond des cartes de divers facteurs certainement importants, on obtient une image qui ressemble de manière satisfaisante à une carte des formations végétales si on utilise pour elles des couleurs convenables. A partir du moment où la ressemblance est suffisante, la carte devient analytique.

2. — Analytique: en effet, si la superposition d'une carte à couleurs bien choisies, représentant un facteur, augmente la ressemblance, c'est que ce facteur est important; si, au contraire, la ressemblance a diminué, c'est que ce facteur n'a pas d'action digne d'être représentée. Il peut même arriver que la carte soit améliorée en un point et « péjorée » en un autre. Il faut alors étudier pourquoi. On trouvera par exemple, que la carte est améliorée dans les parties sèches et non dans les parties humides, cela implique que le facteur renforce l'action de l'humidité.

(1) Il est amusant et un peu vexant de constater que pendant l'occupation allemande les officiers allemands avaient des ouvrages de documentation sur la France. Cette même carte y était imprimée du blanc au marron foncé en une seule couleur et était devenue très belle.

On voit que la méthode a malheureusement le tort de demander beaucoup de temps.

L'exemple des environs de Foix qui a été publié en 1926 montre tout l'intérêt théorique et pratique de la méthode. On voit par exemple sur la carte synthétique la couleur de la forêt de Hêtre au Prat d'Albi au-dessus de Becq là où, à cette époque, il n'y avait que de la broussaille de Hêtre. C'était dû à l'action humaine et on pouvait affirmer qu'une forêt s'installerait si l'homme disparaissait. L'homme n'a pas disparu mais a très fortement desserré son étreinte et depuis que cette carte a été dressée (1918), la forêt a beaucoup gagné. La présence des forêts du Fourcat (S. E. de la carte), de Montouliou (au-dessus du carton de légende 9), de Prayols (au N. de Montouliou), de Ganac et Brassac (centre W. de la carte) est remarquablement prévue par la carte synthétique. Sur les terrains calcaires du N. E. (Pech de Foix) la forêt de Hêtres vers l'E. du chaînon est aussi prévue.

Je ne puis pas insister davantage, mais j'indiquerai seulement que j'ai organisé les couleurs de la

carte de végétation de la France à 1/200 000' d'après ces principes appliqués à la France en ouvrant au maximum l'éventail des couleurs. De même, j'entreprends la publication d'une carte du monde à 1/1 000 000' où une charte générale des couleurs permettra de comparer les conditions écologiques de deux contrées différentes dans le monde. Ce n'est pas le lieu de discuter de cette carte du tapis végétal, mais elle a un intérêt essentiel pour comparer les conditions de milieu et cela, grâce à la couleur.

Pour terminer, je signale que, appliquant ces principes, M. Curé, Professeur au Lycée de Tarbes a obtenu de fort jolies réalisations de cartes synthétiques des climats du monde et des divers continents. En utilisant un fond bistre sombre, un jaune, un rouge et deux bleus, il a obtenu pour la carte du monde, par exemple, 14 nuances différentes qui donnent une très belle image des conditions climatiques.

Je n'insiste pas, je pense avoir montré l'usage possible des superpositions de couleurs pour représenter les questions synthétiques.

LA CARTOGRAPHIE BOTANIQUE EN COULEURS

par M. REY

*Sous-Directeur
du Service de la Carte Phytogéographique
au Centre National de la Recherche Scientifique.*

La cartographie de la végétation met en jeu un nombre particulièrement important de faits à représenter: on ne peut espérer en obtenir une expression démonstrative qu'en faisant appel à la *couleur*, selon des principes très stricts, logiquement élaborés.

La distribution géographique des végétaux est sous la dépendance étroite d'un certain nombre de *facteurs naturels*: leur action conjuguée conditionne en tout point le développement d'un paysage végétal en *équilibre* avec ces déterminants.

L'homme, directement ou indirectement, consciemment ou inconsciemment modifie les conditions de cet équilibre, et la végétation qui en est le reflet s'adapte à ces conditions nouvelles, recherchant un nouvel équilibre, constamment remis en question.

La cartographie botanique répond donc à un double objet:

- description du *dynamisme* de la végétation: tendance naturelle vers un équilibre naturel imposé par des conditions naturelles.
- description de la *physionomie* de la végétation: succession des paysages végétaux qui, entre le sol nu et le terme ultime de l'évolution (généralement forestier sous nos climats), jalonne la lutte entre l'évolution progressive naturelle et les phases de régression le plus souvent dues à l'homme, au feu, au pâturage, à l'outil.

La notion de *série de végétation* qui intègre ces deux aspects d'un même phénomène est ainsi à la base d'un système cartographique complexe, dont la clarté d'expression graphique doit être rigoureusement recherchée.

Les principes à mettre en œuvre pour réaliser une cartographie « parlante » sont de trois ordres:

- signification logique de la couleur;
- hiérarchie chromatique;
- économie de moyens techniques de reproduction.

Les deux premiers commandent le troisième, car c'est de leur rigueur d'application que dépend la lisibilité et l'efficacité d'utilisation pratique d'une carte.

Signification logique de la couleur.

A l'expression cartographique du *dynamisme*, phénomène essentiel à représenter, doit être affectée la *couleur*: chaque série de végétation sera désignée par une *teinte signifiative*.

Pour le choix de cette teinte intervient la notion de *synthèse chromatique* proposée par Gaussen:

La variation géographique de chacun des principaux facteurs du milieu naturel (température, sécheresse, humidité, lumière, sol) peut être exprimée par une échelle chromatique simple utilisant les couleurs simples et leurs *nuances*; — c'est-à-dire leur variation vers les couleurs voisines du spectre. Les cartes de

pluviométrie de France et Afrique du Nord constituent les exemples les plus typiques de cette méthode.

La superposition de ces cartes élémentaires fournit une synthèse chromatique logique des conditions d'une région (cf. cartes synthétiques de Cure). De même, la superposition des teintes élémentaires correspondant, pour chaque variable écologique, à la valeur requise par telle série de végétation, légitime une *teinte résultante* qui caractérisera cette série.

Deux séries de végétation voisines seront représentées par des teintes voisines dans le spectre: il y aura *harmonie de teintes* sur la carte chaque fois que la variation géographique des conditions du milieu sera harmonieuse.

Deux séries de végétation très différentes seront représentées par des teintes éloignées l'une de l'autre dans le spectre: il y aura *contraste de teintes* sur la carte chaque fois que, dans la nature, apparaîtra un contraste de facteurs déterminants.

On voit donc tout le parti que l'on peut tirer de la lecture de cartes conçues selon ces principes. Il conviendra d'ailleurs de considérer davantage la signification relative des teintes que leur signification absolue, car celle-ci peut varier avec les types de cartes: dans un système cartographique mondial au millionième, le rouge représentera les déserts, le violet la forêt équatoriale, mais dans le système cartographique français au 200 000^e, il serait absurde de ne pas utiliser ces couleurs très précieuses sous prétexte qu'il n'y a ni désert ni forêt équatoriale à représenter: la « palette » de teintes sera donc étalée sur l'ensemble du spectre, et l'interprétation relative des teintes gardera toute sa signification.

Hiérarchie chromatique.

A l'expression cartographique de la *physionomie* de la végétation, phénomène secondaire par rapport à son dynamisme, sera affectée l'*intensité* de la couleur; autrement dit, à la série de végétation correspond une teinte, aux stades physiologiques successifs constituant cette série correspondent des *tons* successifs de cette teinte.

Les stades physiologiques d'une série peuvent être ramenés à cinq: le sol nu (ou la culture); la pelouse; la lande ou la garrigue; la lande boisée ou le maquis; la forêt.

A cette série de végétation peut être adaptée une série *chromatique*, allant du blanc (=absence de couleur) pour la culture, à la teinte plate pour la forêt, en passant par la teinte très pâle, la demi-teinte, la demi-teinte ponctuée de points en a-plate.

Ici intervient une question de technique d'impression:

- Si l'impression de chaque teinte peut être obtenue par un seul passage à la machine, il est facile de représenter les trois stades principaux: pelouse, lande, forêt, par trois conventions: pointillé, ligné, teinte plate. Les cartes imprimées

par ce procédé sont particulièrement lisibles (cf. feuilles Toulouse et Perpignan de la Carte de la Végétation de la France).

— Par contre, si les teintes sont obtenues par combinaisons de couleurs (impression offset), il devient difficile de retrouver dans le fond des trames, les trois structures si nettes de la première méthode: le lecteur n'est guidé que par une impression visuelle générale: teinte forte, demi-teinte, teinte pâle.

Pour tourner cette difficulté, on peut introduire, entre deux couleurs combinées, la notion de *couleur dominante* et de *couleur récessive*.

Soit deux couleurs A et B, disponibles en trois pourcentages imprimants: teinte plate 3, trame moyenne 2 visible à l'œil nu, trame fine 1, difficilement visible à l'œil nu (type de la charte de teintes de l'Institut Géographique National). Supposons que A soit dominant sur B (rouge sur jaune, ou bleu sur jaune, par exemple): une trame A sur à-plat B donnera une teinte à apparence lignée; une trame B sur à-plat A donnera une teinte apparemment plate.

Le tableau suivant indique les différentes combinaisons possibles entre les deux échelles, ainsi que les séries chromatiques adaptables à des séries de végétation, dans le respect des impératifs suivants:

- le terme ultime de la série doit être une teinte plate;
- le terme moyen doit faire apparaître un 'ligné';
- le terme inférieur doit être une teinte très pâle;
- la série chromatique doit avoir une raison: entre 2 stades successifs doivent être ajoutées les mêmes quantité et qualité de couleurs.

Dans ces conditions, seules peuvent être retenues les séries chromatiques suivantes:

teinte pâle	ligné	teinte plate
A 1	A 2	A 3
B 1	B 2	B 3
A 1 B 1	A 2 B 2	A 3 B 3
A 1 B 1	A 2 B 1	A 3 B 1
A 1	A 2 B 1	A 3 B 2

Les autres doivent être éliminées.

Si les deux couleurs A et B sont d'égale valeur (rouge et bleu, par exemple), seule la série chromatique A 1 B 1—A 2 B 2—A 3 B 3 fournit une progression correcte (encore que A 2 B 2 soit plutôt un quadrillé qu'un ligné).

Economie de moyens techniques de reproduction.

L'application rigoureuse des principes ci-dessus conduit à considérer autant de teintes que de séries de végétation, et à éliminer un grand nombre de combinaisons de trames, dans les cas de superposition de planches de coloris.

La première condition rend difficile l'emploi des techniques imprimant une teinte par planche (les premières feuilles de la Carte de végétation au 200 000' imprimées en lithographie, ont nécessité 13 à 18 passages sur machines à plat).

La seconde condition implique un choix très étudié des trames pour obtenir une représentation logique et claire des multiples types de végétation d'un système cartographique donné.

En attendant la mise au point de procédés « stables » de photographie en couleurs, ou bien de trichromie ou quadrichromie, qui résoudreient totalement le problème (1), il est possible de tirer un parti très intéressant de la charte de teintes établie par l'I.G.N.

Le « Specimen de teintes » I.G.N. utilise sept possibilités d'impression: six couleurs (rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet) et un ton neutre (gris); soit pratiquement sept couleurs disponibles en trois pourcentages imprimants.

L'orientation du lignage des trames étant différente pour chaque couleur, il est possible d'obtenir, par superposition de 2, 3, 4 couleurs, des combinaisons de teintes d'une très grande variété: le spécimen publié par l'I.G.N. comporte 720 cartouches différents.

On peut disposer schématiquement sur une étoile à sept branches les 7 couleurs de base utilisées, classées dans l'ordre du spectre (en attribuant conventionnellement au gris la place de l'indigo).

Cette figuration illustre, outre les 7 couleurs de base, les 18 combinaisons les plus simples obtenues par superposition des couleurs deux à deux (les trois combinaisons entre couleurs complémentaires étant éliminées parce que « lethales »).

On dispose ainsi de 25 teintes plates susceptibles d'être tramées pour constituer des séries chromatiques rigoureuses du type

A 1	A 2	A 3
B 1	B 2	B 3
A 1 B 1	A 2 B 2	A 3 B 3

Or, dans le système cartographique de la France au 200 000', il existe précisément 25 séries de végétation (ou éléments de séries), et il est très curieux de constater qu'en adoptant les teintes déjà prévues par Gaussen dans l'Atlas de France ou les premières feuilles au 200 000', on obtient sur le schéma, à de très rares exceptions près, un *groupement relatif logique* très satisfaisant des séries de végétation, — quant à la signification écologique des différences de teintes entre séries voisines.

Les 25 séries chromatiques pures ainsi affectées, il reste dans la charte I.G.N. suffisamment de possibilités chromatiques pour *nuancer* les variations latérales des divers stades d'une série:

Ainsi, entre les séries normales du Chêne vert J 1 J 2 J 3 et du Chêne pubescent V 1 J 1—V 2 J 2—V 3 J 3, il sera facile de prévoir par exemple la garrigue dégradée mixte V 1 J 2 ou le maquis subméditerranéen V 2 J 3.

En outre, une grande simplification technique est réalisée dans l'établissement des « masques » d'impression, du fait que chaque teinte n'exige jamais plus d'une superposition de couleurs, et que, le plus souvent, deux teintes juxtaposées sur la carte ont une couleur commune, parfois dans le même ton.

Les figurés techniquement délicats du type « lande boisée » seront aisément réalisés puisqu'il suffira de modifier le ton d'une des couleurs composantes pour obtenir, sinon la valeur exacte de la teinte plate ca-

(1) A condition de disposer de maquettes parfaites, d'une sélection très pure des couleurs de base et d'un repérage de planches d'une précision totale.

ractéristique de la série, du moins une valeur très approchée,

par exemple: V 2 J 2 Lande
V 3 J 2 Arbres isolés sur lande
V 3 J 3 Forêt.

..

En application de ces divers principes peut être établie la charte chromatique de la carte de la végétation de la France:

Cette charte fait état de la plupart des séries actuellement décrites et de quelques-uns des groupements intermédiaires entre séries.

Il est évident qu'on ne peut envisager de l'utiliser en toutes circonstances d'une manière rigoureuse:

- d'abord, parce que de nouveaux types de végétation peuvent être reconnus;
- ensuite parce que dans certaines coupures de la carte, il pourra être expédient de modifier certains figurés:

c'est ainsi que dans la feuille Mont-de-Marsan, on a pu faire l'économie de la planche orange,

en traitant le Chêne liège dans la combinaison R 2 J 3 (homologue imparfait, parce que ligné, de O 3 J 3); de même, l'abondance de traits horizontaux violet-vert (Pin maritime) a légitimé une planche supplémentaire spéciale plus simple à réaliser que la superposition des deux couleurs.

Enfin dans un souci de lisibilité, toutes les feuilles de la carte comportent une planche du *marron*, nécessaire pour le figuré des agglomérations, des vignes, des jardins, etc..., et utilisée pour la représentation de certains *faciès* botaniques: Charme, Tilleul, Bouleau, Tauzin.

Ainsi c'est vers une solution mixte (emploi de la charte I.G.N. soutenue par quelques planches supplémentaires) que s'oriente la technique d'impression des cartes phytogéographiques.

Dans ce souci de simplification technique, quelques modifications doivent parfois être apportées à la charte théorique, mais le respect aussi rigoureux que possible de celle-ci reste la plus sûre garantie d'une interprétation féconde de la Carte.



INTERVENTION de M. LOÏC CAHIERRE, de l'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL SUR LA RÉALISATION DES TEINTES EN CARTOGRAPHIE

Je voudrais vous exposer rapidement comment, à l'Institut Géographique National, on réalise pratiquement les teintes des cartes dont viennent de vous parler M. Gaussen et M. Rey. Autrement dit, je vais examiner la question du point de vue de l'imprimeur.

Celui-ci cherche généralement à réduire le plus possible le nombre des passages de la feuille de papier sur la presse à imprimer, et par conséquent il s'efforce de grouper sur la même planche d'impression plusieurs teintes ou éléments de teintes lorsque celles-ci sont obtenues par des combinaisons.

Mais il ne faut pas que la complication entraînée par cette pratique dans l'établissement des planches d'impression vienne annuler le bénéfice qui résulte en temps et en argent, de la réduction du nombre des planches. Il y a donc intérêt à examiner la question dans chaque cas particulier qui se présente.

Lorsque les teintes appartiennent à une même gamme, le problème est simple. C'est le cas, par exemple, des teintes hypsométriques qui, à l'Institut Géographique National, sont généralement imprimées dans les tons chamois. On obtient en général toute la gamme avec deux ou parfois trois planches, sur chacune desquelles on dispose une teinte et deux teintes tramées différentes, les superpositions donnant le nombre voulu de teintes régulièrement échelonnées.

Certaines cartes comportent des teintes appartenant à un petit nombre de gammes; on applique le même procédé à chacune de celles-ci. Je me souviens, par exemple, avoir imprimé, de cette façon, dans les années qui ont immédiatement précédé la guerre, une édition de la carte de pluviosité dont M. Gaussen vous a parlé tout à l'heure.

Mais bien des cartes doivent porter des teintes beaucoup plus variées, et le procédé devient difficilement applicable, car il conduirait à un nombre de planches d'impression encore trop grand. On a donc cherché à appliquer le principe de la trichromie à la réalisation de ces teintes.

Comme il s'agit d'obtenir des gammes discontinues, on peut combiner un nombre assez faible de teintes prises dans chacune des trois couleurs primaires soustractives, par exemple une teinte plate et deux teintes tramées comportant des pourcentages imprimants différents.

Le Service Géographique de l'Armée avait déjà établi une charte des couleurs fondée sur ce principe, et qui était appropriée à l'impression en machine plate lithographique. Cette charte comprenait, outre les trois couleurs primaires, un gris réalisé dans les mêmes conditions. Elle permettait d'obtenir :

- 3 tons dans le rouge, le bleu, le jaune et le gris, soit 12,
- Les combinaisons binaires, c'est-à-dire de l'un des trois tons des quatre couleurs avec un des trois tons d'une autre couleur, soit 54,
- Les combinaisons ternaires, c'est-à-dire de l'un des trois tons des quatre couleurs avec deux tons,

pris chacun dans l'une des deux autres couleurs, soit 108, ce qui faisait au total 174 teintes.

Cette charte a été utilisée en particulier pour l'impression de la carte géologique du Maroc en une feuille.

L'Institut Géographique National a cherché, après la guerre, à réaliser une charte semblable pour l'impression en offset, en appliquant les mêmes principes. Les essais ont montré que cette charte serait insuffisante, à cause de l'imperfection des encres primaires, à cause aussi de divers autres facteurs tenant au papier, aux machines, etc... On a donc été conduit à faire une charte plus compliquée, dans laquelle on part de 6 couleurs : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, violet, auxquelles on ajoute un gris neutre. Dans chaque couleur et dans le gris on dispose d'une teinte plate et de deux teintes tramées obtenues chacune par une trame à lignes parallèles.

L'épaisseur et l'écartement des traits de ces trames avaient été déterminés d'abord de manière que les pourcentages imprimants soient respectivement de deux tiers, mais les premiers essais ont montré qu'il était préférable de ne pas s'en tenir strictement à ces chiffres, et d'adopter 60 % et 28 % qui donnent une meilleure sensation d'une gamme de teintes régulièrement dégradées.

La charte ne comprend pas, bien entendu, toutes les combinaisons possibles de ces 6 couleurs. On a conservé :

- Les trois tons obtenus en une seule impression dans chacune des 6 couleurs,
- Les combinaisons des 6 couleurs 2 à 2,
- Une partie des 6 combinaisons des 6 couleurs 3 à 3,
- Les teintes obtenues par la superposition de chacun des 3 gris à chacune des teintes ainsi réalisées.

On dispose ainsi de 720 teintes, obtenues chacune avec 4 planches au maximum, l'ensemble étant obtenu avec 7 planches au total.

Je crois savoir que cette charte donne satisfaction à M. Gaussen pour la rédaction des cartes de végétation.

Pour les cartes géologiques, la question est plus complexe, et la charte n'apporte pas des solutions satisfaisantes à tous les problèmes de teintes. En particulier, elle ne contient que 7 teintes claires, celles qui correspondent aux 6 couleurs fondamentales et au gris neutre; elle ne procure pas une gamme adaptée à la représentation des terrains quaternaires, pour lesquels il est d'usage d'utiliser des teintes claires différentes de celles-là.

On a donc décidé de chercher à perfectionner cette charte pour pouvoir résoudre un plus grand nombre de problèmes de teintes. On envisage par exemple d'introduire de nouvelles trames avec de nouveaux pourcentages imprimants. Il est certain que toute amélioration qui interviendrait dans la qualité des encres — question qui est tout à fait à l'ordre du jour — serait la bienvenue en la matière.

INFLUENCE DU CHROMATISME DE L'ŒIL SUR LA PERCEPTION DU RELIEF EN VISION BINOCULAIRE

par l'Ingénieur en chef Jean CRUSET

L'influence du chromatisme de l'œil sur la perception du relief en vision monoculaire, correcte ou erronée, selon les circonstances, est bien connue depuis les travaux théoriques de Charles Lopicque (1) et les résultats obtenus expérimentalement par le Docteur Polack, notamment au moyen de l'objectif hyperchromatique calculé par Florian.

Nous savons ainsi que :

— pour les luminances moyennes, l'œil accommode sur l'orangé : c'est la mise au point qui donne la meilleure distribution de l'éclairement et la meilleure répartition des couleurs dans l'image rétinienne d'une source ponctuelle de lumière blanche ; c'est ainsi que dans les expériences que nous décrirons plus loin où les sources sont constituées par diverses figures rouges et bleues se détachant sur fond noir et réalisées au moyen de filtres Wratten 29 et 49 de longueurs d'onde dominantes respectives : 633 m μ et 461 m μ , éclairés par des tubes luminescents type lumière du jour de 40 centimètres donnant une température de couleur de 6500° K et examinés par transparence, l'œil accommodera pratiquement sur le rouge et formera sur la rétine une image diffuse des sources bleues voisines ;

— si l'œil unique examine à la fois deux sources ponctuelles de lumière blanche situées dans des directions très voisines, mais à des distances différentes en accommodant sur l'une d'elles, la coloration différente des « liserés colorés » des images rétinienne de ces deux sources est interprétée par le cerveau sous la forme d'une différence de distance : de simples considérations de chromatisme dans l'œil supposé réduit à un dioptré sphérique, même sans tenir compte de la diffraction, font pressentir la couleur des liserés qui ne sont pas perçus directement par l'œil ; le chromatisme de l'œil contribue ici à une perception correcte (mais non à une appréciation) des différences de distance ;

— si, au contraire, l'œil unique examine deux sources d'assez faible diamètre apparent, l'une rouge, l'autre bleue, situées toutes deux à la même distance de l'observateur, placées, l'une et l'autre, dans des directions très voisines et se détachant bien sur fond noir, le relâchement de l'accommodation de l'examen du rouge à l'examen du bleu est interprété par le cerveau comme un éloignement plus grand de la source bleue que celui de la source rouge. Ce phénomène est plus ou moins sensible selon les individus. Sur 40 observateurs qui se sont prêtés à une expérimentation de ce genre, 35 ont manifesté une perception erronée du relief conforme à la théorie que nous venons de rappeler, deux ont vu le bleu avant, trois n'ont pu se prononcer et ont donc éprouvé une vision correcte du relief (2).

L'importance considérable de la stéréoscopie dans les techniques photogramétriques m'a conduit à rechercher si le chromatisme de l'œil pouvait provoquer des erreurs d'appréciation du relief en vision binoculaire, alors que des considérations d'ordre géométrique, sans doute un peu hâtivement limitées à la

considération du triangle ayant pour base l'écart interpupillaire et pour sommet le point fixé par les yeux, semblent montrer que l'on est à l'abri d'une erreur de sens dans la perception des profondeurs.

Disons tout de suite que les 35 observateurs qui ont vu, ainsi qu'il paraît être normal du point de vue de la théorie, le rouge en avant du bleu, en vision monoculaire, continuent à voir le rouge en avant du bleu en vision binoculaire, mais alors que 19 personnes trouvent le phénomène plus sensible en vision binoculaire, 15 éprouvent une sensation opposée et une n'a pas d'opinion.

Rappelons le schéma de la vision binoculaire sur une source ponctuelle *monochromatique* M que nous placerons au voisinage du plan médiateur du segment joignant le centre des pupilles (figure 1). Les images rétinienne m_1 et m_2 sont fusionnées en une image unique de la source M. Une source L, plus éloignée, placée à peu près dans la même direction, donne des images rétinienne l_1 et l_2 plus près du nez de l'observateur et placées comme l'indique la figure 1 si l'on suppose que les yeux ont maintenu la convergence de leurs lignes de fixation sur le point M. Les images rétinienne p_1 et p_2 d'une source plus proche P sont au contraire plus voisines des tempes.

Considérons maintenant le cas de deux sources de faible diamètre apparent, l'une bleue, l'autre rouge, placées côte à côte, séparées par une mince ligne noire et se détachant sur fond noir. Nous supposons, dans les figures qui suivent, ces deux sources placées l'une au-dessus de l'autre dans le plan médiateur des centres des pupilles, ce qui simplifie les figures et ne change rien au raisonnement. Les images rétinienne rouges sont à peu près ponctuelles, les images bleues sont des cercles de diffusion de plus grande dimension, et cela d'autant plus que les pupilles sont plus dilatées.

Nous avons dit que 35 observateurs sur 40 avaient vu le rouge en avant en vision binoculaire. Cela pourrait s'expliquer :

— soit par un relâchement de l'accommodation du rouge au bleu comme on l'a dit pour la vision monoculaire,

— soit par une convergence des lignes de fixation inférieure à celle qui ferait travailler les yeux sur les sources colorées,

— soit par une non coïncidence de l'axe optique approximatif de l'œil et de son axe de fixation,

— soit par une variation chromatique de l'excitement des pupilles d'entrée de l'œil.

Apparemment, s'il était seul en cause, le relâchement de l'accommodation devrait être moins sensible, quant à la perception erronée du relief, en vision binoculaire qu'en vision monoculaire puisque son effet serait contrarié par l'interprétation résultant de la fixation des regards sur les sources rouge et bleue très voisines. Tel ne paraît pas être le cas,

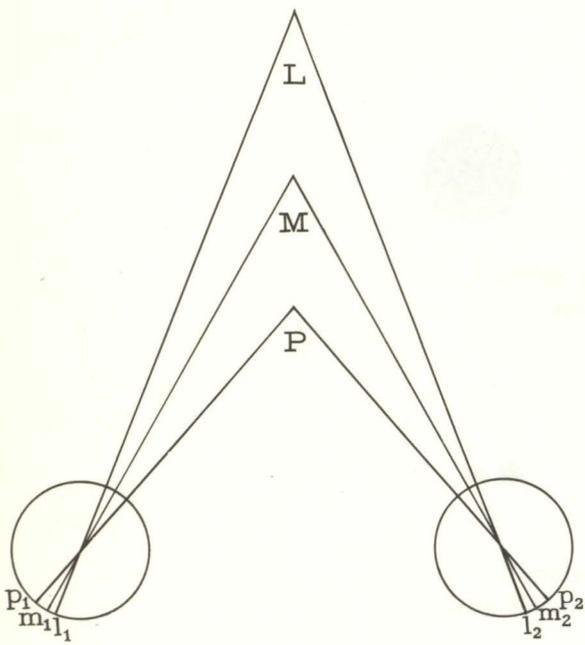


Fig. 1

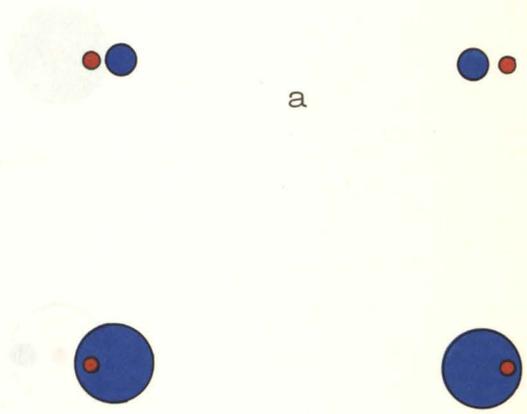


Fig. 3

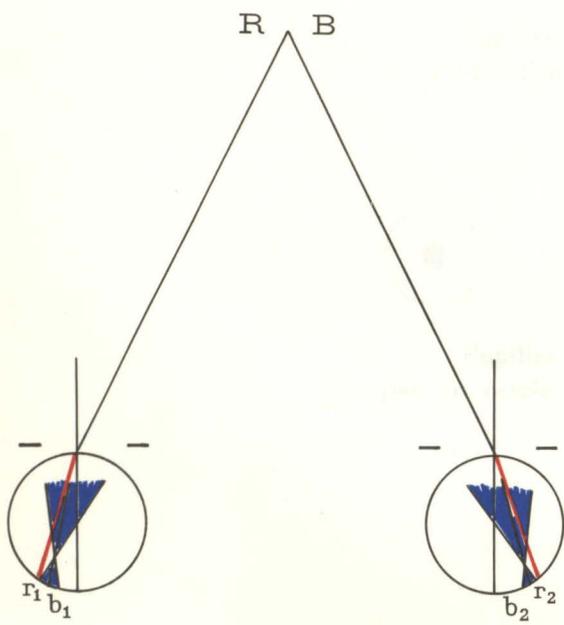


Fig. 2

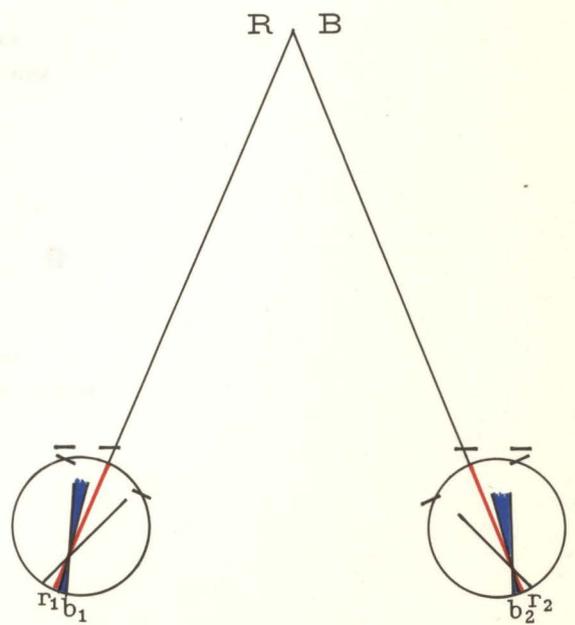
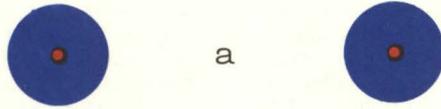
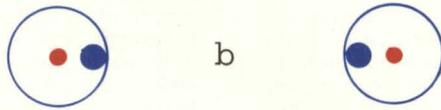


Fig. 4



a

Pupilles non diaphragmées
artificiellement



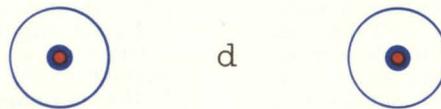
b

Pupilles diaphragmées
artificiellement vers les tempes



c

Pupilles diaphragmées
artificiellement vers le nez



d

Pupilles diaphragmées
par un cercle oculaire bien centré

Fig. 5

puisque 19 observateurs sur 35 ont été plus sensibles à une sensation erronée de profondeur en vision binoculaire.

Une convergence insuffisante des lignes de fixation, jointe à la réfraction plus grande de l'œil pour le bleu que pour le rouge, expliquerait le phénomène (1) et expliquerait aussi qu'il soit plus sensible lorsqu'on opère avec un champ périphérique bien éclairé (ce qui exige, pour qu'on les voit bien, une assez forte luminance des sources bleue et rouge). Les pupilles sont alors de plus faible diamètre et les taches de diffusion, plus petites, se distinguent mieux des images rétinienne. Les choses se passeraient comme l'indique la figure 2 dans le cas extrême où les lignes de fixation resteraient parallèles. Pour simplifier cette figure et certaines des suivantes, j'ai supposé chacun des yeux réduit à un dioptré sphérique diaphragmé dans son plan tangent en son sommet. Nous ne sommes pas loin de la réalité et cela ne change en rien les raisonnements qui suivent tant qu'il est légitime de considérer l'œil comme un système centré. La figure 3a représenterait alors le cas des petites pupilles, opposé à celui de la figure 3b où les pupilles sont très dilatées. Cette hypothèse est vraiment très peu plausible. On ne voit pas pourquoi les regards resteraient en deça de leur convergence théorique. Les expériences réalisées au moyen d'un instrument binoculaire et décrites plus loin s'expliquent d'ailleurs très bien sans faire appel à l'hypothèse d'un défaut de convergence des lignes de fixation.

On sait que l'axe de fixation ne coïncide pas avec l'axe optique, plus ou moins défini, de l'œil. En admettant en première approximation que l'axe optique est bien défini et ne subit pas de dispersion chromatique, ce qui est légitime, me semble-t-il, lorsqu'il s'agit de comparer sa position moyenne à celle de la ligne de fixation, la position du centre de rotation, nettement plus éloigné de la cornée que le centre du dioptré équivalent à l'œil et le fait que l'axe de fixation rencontre la cornée plus près du nez que ne le fait l'axe optique, nous montrent que les images rétinienne de diffusion bleues, si celles-ci ne sont pas centrées sur les images rouges, doivent être plus voisines des tempes, ce qui conduirait à voir le bleu plus rapproché. Comme 35 observateurs sur 40 ont vu le rouge en avant en vision binoculaire, il semble bien qu'en général la non coïncidence des axes de fixation et des axes optiques n'a pas une influence sensible sur l'interprétation du relief.

Afin de chercher à mettre en évidence l'influence d'une variation de la base de triangulation, j'ai cherché, comme me l'avait suggéré le professeur W. D. Wright, dans une lettre très récente dont je tiens à le remercier ici, à utiliser des pupilles artificielles dont il me serait possible de faire varier l'écartement. Je n'ai pas pensé pouvoir le faire avec des diaphragmes placés devant les yeux de crainte d'imposer aux lignes de fixation un effet directionnel qui leur eût donné une convergence n'ayant rien à voir avec la question, comme cela a déjà été fait, sans inconvénient dans ce cas, en vision monoculaire (3). Comme dans l'expérience faite par le Professeur Y. Le Grand au moyen d'un spectroscope dont le cercle oculaire diaphragmait fortement l'œil (4), expérience d'où il résultait que, dans ce cas, la mise

au point par déplacement latéral de l'œil n'est pas possible, car la parallaxe entre l'image observée d'une certaine radiation et l'image du réticule, d'une couleur, est indépendante de la mise au point (1), j'ai eu recours à une diaphragmation des pupilles par un cercle oculaire plus petit. J'ai donc pris une paire de jumelles 8x30 dont on s'était assuré que le chromatisme de position était très faible. On s'était également assuré que le centre des cercles oculaires ne présentait pas de chromatisme de grandeur, quel que fût l'écartement des deux corps de jumelles.

Les mêmes sources bleue et rouge sur fond noir ont été utilisées. L'opérateur a été soumis à une adaptation dans l'obscurité d'une quinzaine de minutes. Des anneaux de clinquant noir destinés à limiter le diamètre des cercles oculaires à 1 mm environ ont été placés sur les objectifs (1). Le phénomène constaté a été extraordinairement net. Avec un grand écartement des corps de jumelles, correspondant à une utilisation des pupilles des yeux vers les tempes, le rouge était vu en avant. En rapprochant les deux corps de jumelles pour utiliser les régions pupillaires voisines du nez, le bleu était perçu très nettement en avant, d'autant plus que les deux corps de jumelles étaient plus repliés l'un sur l'autre. Sans qu'il soit besoin de tenir compte d'une non-coïncidence des lignes de fixation et des axes optiques approximatifs des yeux, ou bien de faire une hypothèse sur une variation chromatique de l'excentrement des pupilles, le chromatisme de l'œil réduit à un dioptré diaphragmé en son sommet suffit à expliquer le phénomène constaté (fig. 4). A la partie utilisée des pupilles correspond, pour la vision du bleu, la partie indiquée des cercles de diffusion rétinienne initiaux (fig. 5b et c): la figure 5b montre que des pupilles diaphragmées vers les tempes par de petits cercles oculaires font paraître le point bleu à plus grande distance que le point rouge; la figure 5c montre au contraire que des pupilles, diaphragmées vers le nez, font voir le bleu en avant. Dans le cas d'un bon centrage mutuel des cercles oculaires et des pupilles (fig. 5d), aucune erreur de pointé stéréoscopique ne semble à craindre, malgré la différence d'accommodation sur le bleu et sur le rouge.

L'aspect du phénomène, lorsqu'on procède à une série d'écartements et de rapprochements des corps de jumelles, donne l'illusion d'un véritable pointé stéréoscopique qui serait fait, par exemple, au moyen d'un index bleu sur un objet rouge. Le contact stéréoscopique, tel que j'ai pu le déterminer au moyen de quelques mesures hâtives exécutées la veille même de ce congrès, a été obtenu pour un écartement très légèrement inférieur (0,5 mm environ) à mon écart interpupillaire. Les essais devront évidemment être repris avec plus de soin (vérification de la graduation indiquant l'écartement des cercles oculaires, intervention d'un plus grand nombre d'observateurs, expériences sur des appareils de restitution photogramétrique etc...). La mesure des parallaxes apparentes avec un tel appareil permettra peut-être de constater que le chromatisme de position de l'œil n'est pas seul en cause et qu'intervient une variation chromatique de l'écart interpupillaire de l'observateur.

(1) La plus grande réfraction de l'œil pour le bleu que pour le rouge fait que le centre des taches de diffusion bleues (b1, b2), placé sur le rayon principal correspondant à cette couleur dans l'œil, est, dans le cas de la figure 2, plus près du nez, dans chacun des deux yeux, que les images rétinienne rouges (r1 et r2). Comme il le fait pour le point L (images rétinienne 11 et 12) par rapport au M (images rétinienne m1 et m2) dans le cas de la vision binoculaire en lumière monochromatique, le cerveau interprète les écarts r1 b1, r2 b2 comme s'ils étaient dus à un éloignement plus grand du bleu.

(1) Notons en passant que le déplacement de l'œil, en lumière monochromatique, ne met en évidence un défaut de mise au point que si le cercle oculaire, quand il est plus petit que la pupille de l'œil, est diaphragmé par cette dernière, ce qui exige un déplacement de l'œil assez grand (5).

(1) Du moins, pour une partie des essais. Le phénomène est alors un peu plus sensible, mais il l'est déjà considérablement avec les cercles oculaires de près de 4mm des jumelles utilisées. Ces cercles oculaires ne sont d'ailleurs que partiellement utilisés pour les écartements extrêmes des corps de jumelles.

— substitution, sur certains appareils de restitution photogrammétrique, d'un index de pointé stéréoscopique coloré à un premier index, soit coloré autrement, soit noir ou encore blanc,

— restitution, rare en raison de leur prix de revient, de photographies aériennes diapositives en couleurs, dans le cas, très peu fréquent, il est vrai, en photographie aérienne, où les couleurs seraient assez saturées.

Autant que je puisse en juger, pour l'instant l'expérience que je viens de décrire ne m'a pas permis de confirmer ou d'infirmer l'existence d'une aberration chromatique d'excentrement des pupilles, puisque les résultats obtenus s'expliquent sans qu'il soit besoin de la supposer. Par contre, cette expérience a donné un résultat très net quant à une erreur possible d'appréciation du relief dans un instrument binoculaire équipé pour exécuter des pointés stéréoscopiques.

Je m'excuse de m'être imprudemment aventuré dans un domaine quelque peu étranger à ma compétence professionnelle et à mon activité quotidienne. Je n'arrive pas à des conclusions certaines en ce qui concerne la vision binoculaire sans instrument. Par contre, il apparaît que le chromatisme de l'œil peut influer sur la précision de certains instruments de mesure stéréoscopiques, dans des circonstances telles que les suivantes :

Les erreurs de pointé stéréoscopique ne sont vraiment à craindre que si l'opérateur néglige de donner aux oculaires l'écartement déterminé par son propre écart interpupillaire, connu avec une précision souhaitable de 0,25 mm. Nous rencontrons ici un cas où une méconnaissance de l'écart interpupillaire de l'observateur dans l'emploi d'un instrument binoculaire de mesure est préjudiciable à la précision. Nous savons qu'il en est également ainsi avec les télé-mètres stéréoscopiques, du fait que les images objectives se forment plus ou moins en arrière du plan de front de l'index de pointé stéréoscopique (6). C'est une raison de plus pour conseiller aux utilisateurs d'un instrument binoculaire de mesure de bien connaître leur cart interpupillaire et d'en tenir compte dans le réglage de leur appareil.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Ch. Lopicque. — Réunions de l'Institut d'Optique (1936) volume 7, pages 12 et suivantes.
- (2) J. Cruset. — Optique appliquée et photographie (1957) page 219.
- (3) J. Guild. — Proceedings of the Physical Society (1917), volume 29, pages 311 et suivantes.
- (4) Y. Le Grand. — Optique Physiologique, tome III, 1956) page 20.
- (5) J. Cruset. — Op. cit. page 189.
- (6) J. Cruset. — Op. cit. page 289.

LES PROCÉDÉS DE PHOTOGRAPHIE EN COULEUR

par M. AUVILLAIN

Secrétaire général de la Société LUMIERE.

Les procédés actuels de photographie en couleur, comme ceux qui ont été utilisés avant eux, si l'on excepte la photographie interférentielle de Gabriel Lippmann, reposent tous sur le principe de l'analyse et de la synthèse trichromes. Ils sont en quelque sorte l'application pratique de la théorie admise sur la trivariance de la vision en couleur d'après laquelle une partie des cellules rétinienne, les cônes, ne sont sensibles qu'à trois couleurs dites primaires, qui sont en fait celles qui dominent dans chacun des tiers du spectre de décomposition de la lumière blanche: Le bleu-violet, le vert et le rouge-orangé. Malgré cette sensibilité limitée à trois couleurs seulement, la loi de Grassmann nous explique pourquoi il nous est possible de percevoir toutes les autres teintes: « En mélangeant par addition, dans des proportions déterminées, trois radiations appropriées, on peut reproduire toute impression colorée quelconque ».

S'il nous est possible, en utilisant seulement trois couleurs primaires, de provoquer n'importe quelle sensation colorée avec une approximation suffisante, c'est que de nombreuses expériences ont démontré que si une différence de couleur observée entre deux objets peut provenir d'une différence de composition spectrale des deux faisceaux lumineux qui atteignent notre œil, il est des cas où deux faisceaux lumineux de composition radicalement différente produisent la même impression colorée.

Dans son ouvrage « Optique physiologique » (Tome II: Lumière et couleur), M. le Professeur Yves Le Grand compare la sensibilité rétinienne à celle de l'oreille et dit notamment ceci:

« A l'inverse de l'oreille qui, dans un accord, reconnaît les sons composants, l'œil ne peut pas séparer les lumières simples qui par leur union, réalisent une lumière composée, et cette dernière offre apparemment la même simplicité que les radiations monochromatiques ».

« L'oreille, par le jeu infiniment varié des accords et des timbres, arrive à distinguer des sources, dès que leurs spectres sonores diffèrent. S'il en était ainsi pour l'œil, sa multivariance rejoindrait celle du rayonnement lui-même. Mais ce n'est pas le cas, et, moyennant certaines restrictions, le récepteur visuel est trivariant ».

Il semble que la première tentative de restitution d'une image en couleur par la photographie, soit celle du savant anglais James Clerk Maxwell effectuée en 1861, non pas d'ailleurs dans le but de trouver la solution du problème de la photographie en couleur, mais pour appuyer la théorie de Young, qui depuis un demi-siècle paraissait être tombée dans l'oubli. Il s'agissait de la reproduction d'un ruban coloré, par la projection simultanée de trois images élémentaires. Les résultats ne se montrèrent pas très encourageants, en raison de la faible sensibilité pour les rayons rouges, des couches négatives utilisées à cette époque.

En 1867, Charles Cros, plus connu comme poète et humoriste, déposait à l'Académie des Sciences un

pli cacheté, dont il ne demanda l'ouverture qu'en 1876. Dans celui-ci il exposait quelques-uns des principes de la photographie trichrome. A la suite de la publication en février 1869, d'un brevet demandé l'année précédente par Louis Ducos du Hauron, il publiait un article à ce sujet, mais il était réservé à Ducos du Hauron d'exposer de façon complète et quasi définitive en 1869, les modes opératoires de la sélection et de la synthèse trichromes, et de prévoir presque toutes les applications qui ont été faites depuis lors. (S. F. P. 7 mai 1869).

L'application pratique de la trichromie à la photographie en couleur a posé dès son début, un problème dont la solution n'est pas immédiatement apparue lorsqu'il s'agit du tirage des images sur papier par synthèse soustractive. Il fallait dans ce cas, non plus utiliser pour l'épreuve positive les couleurs de sélection mais leurs complémentaires. C'est ce que Ducos du Hauron avait désigné sous le nom de « loi de réversibilité antichromatique », par opposition à la « loi de réversibilité homéochromatique » s'appliquant à la projection, c'est-à-dire à la synthèse additive.

La première réalisation d'un procédé automatique de photographie en couleur fut celle de Louis Lumière, qui fit l'objet d'un compte rendu à l'Académie des Sciences en 1904 avant sa réalisation industrielle en 1907. Mais il ne s'agissait que de synthèse additive permettant seulement l'obtention de diapositives en couleur à examiner par transparence ou par projection.

Les procédés modernes, qui ont pour origine la découverte du développement chromogène par Fischer en 1912, reposent tous sur le principe de la synthèse soustractive et permettent donc le tirage en couleur sur support opaque, sans exclure pour cela la possibilité d'obtenir également des diapositives destinées à l'examen par transparence.

Ces procédés reposent sur trois principes qui sont les suivants:

1. — La surface sensible est constituée par trois couches superposées d'émulsions de sensibilités chromatiques différentes, coulées sur un même support transparent. Dans chacune d'elles se forme une des trois images élémentaires provenant de la sélection. Pendant tout le temps des opérations qui se succèdent depuis la prise de vue jusqu'à l'obtention de l'image finale, ces trois images restent en exacte coïncidence, ce qui simplifie beaucoup les opérations successives en éliminant les difficultés occasionnées par les repérages dans le cas de trois couches séparées.

2. — La sélection s'opère automatiquement sur chacune des trois couches, non pas comme dans les anciens procédés au moyen de trois filtres appropriés, bleu-violet, vert et rouge-orangé, mais par le jeu de la sensibilité chromatique de chacune des émulsions qui n'enregistre ainsi que l'image qui lui est destinée.

3. — La coloration de chacune des trois images élémentaires qui interviennent pour la synthèse trichrome soustractive, autrement dit la restitution est obtenue par développement chromogène. Qu'est-ce que le développement chromogène? Il consiste à obtenir des images de couleur vive à partir de tout révélateur aminophénolique ou surtout diamine, quand l'émulsion ou le révélateur contient un « copulant », appelé aussi « coupleur » ou « formateur de colorant », qui participe à la réduction de l'halogénure d'argent, les produits d'oxydation du développeur et du copulant engendrant un colorant insoluble et peu diffusible qui se fixe dans la gélatine aux points où l'argent a été réduit, en quantités proportionnelles à la quantité de cet argent. (R. Fischer 1911). L'image argentique qui se forme en même temps que l'image colorée est éliminée au moyen d'un faiblisseur du type Farmer, ce qui explique pourquoi la granulation des images en couleur est presque inexistante.

Les procédés actuels de photographie en couleur, si l'on ne tient pas compte de leurs caractéristiques particulières, les uns utilisant un *copulant incorporé* à l'émulsion au moment de sa coulée, les autres consistant à *introduire le coupleur* dans le bain de développement convenant à chaque couche, peuvent être classés en deux catégories distinctes: Dans la première l'obtention de l'image positive est obtenue par inversion de l'image négative, le procédé donnant donc directement une image positive en couleur. Dans le second cas il faut tout d'abord obtenir un négatif en couleurs complémentaires, qui par tirage sur une autre couche sensible dont la constitution est analogue, donnera autant d'images positives que l'on désirera, dans n'importe quel format si la copie est effectuée par agrandissement. Ce sont les procédés de cette seconde catégorie qui permettent l'obtention d'images en couleur sur papier. Ils présentent en outre l'avantage de permettre aux photographes de corriger les effets d'une dominante provenant soit des caractéristiques de la couche sensible, (par exemple irrégularités dans la fabrication), soit de la température de couleur *des sources* lumineuses employées pour la prise de vue, soit d'une légère erreur commise dans le choix de la durée d'exposition. Ils donnent aussi le moyen de modifier la coloration de certaines parties de l'image en vue de la réalisation d'effets déterminés. Ce résultat provient de l'emploi au moment du tirage, de filtres correcteurs qui peuvent être au nombre de trois: Un filtre bleu-vert ou « cyan », un filtre jaune, un filtre pourpre ou « magenta », mais il est possible de faire varier la densité de chacun d'eux, l'opérateur disposant d'au moins 10 filtres correcteurs de chacune des couleurs précitées, le premier de la série étant presque incolore, le dernier d'une teinte très saturée.

Malgré les résultats satisfaisants que l'on peut obtenir dans beaucoup de cas, le filtrage ne réussit pas toujours à donner une traduction correcte et simultanée de toutes les teintes d'un sujet, surtout si celles-ci sont très différentes les unes des autres. Il faudrait que les colorants utilisés dans la synthèse soustractive soient des colorants exactement appropriés, c'est-à-dire qu'à leur maximum d'intensité, autrement dit de concentration, ils absorbent pratiquement la région du spectre complémentaire de leur couleur, mais qu'ils soient en outre transparents pour les deux autres régions du spectre. Il serait déjà difficile de trouver de tels colorants dans la gamme pourtant étendue de ceux dont les chimistes ont réalisé la synthèse, mais n'oublions pas que dans notre cas particulier, les colorants intervenant dans la restitution sont fournis par le développement chromogène, ce qui complique singulièrement le problème.

Les colorants qui ont pu être obtenus jusqu'à maintenant par ce moyen ne présentent pas une absorption uniforme dans la région du spectre de couleur complémentaire à la leur, de plus ils provoquent une *absorption parasite* dans les autres régions.

D'une manière générale, pour le colorant jaune, cette absorption est négligeable. Pour le colorant magenta, si elle est négligeable dans le rouge, elle ne l'est plus dans le bleu. Quant au colorant bleu-vert, cette absorption parasite se manifeste à la fois d'une manière appréciable dans le bleu et le vert. Il en résulte que le *magenta est plus rouge* qu'il ne devrait l'être et que le *bleu-vert est assombri*. Par ailleurs pour les couleurs complexes, obtenues par la superposition des trois primaires, le magenta apporte du jaune par suite de son absorption dans le bleu, et cela d'autant plus qu'il est plus intense. De même le bleu-vert apporte du jaune et du magenta par suite de son absorption dans le bleu et le vert. Les couleurs se trouvent donc ainsi faussées.

Ces défauts sont peu apparents sur un positif obtenu directement par inversion, mais ils constituent la difficulté principale des reproductions et tirages sur papier.

Puisqu'il n'est pas encore dans nos possibilités d'obtenir par développement chromogène des colorants parfaits, il faut avoir recours aux « masques » pour rendre les couleurs obtenues plus proches de la réalité. Il n'est pas dans nos intentions d'exposer, même simplifiée, la technique assez compliquée de la correction par masques qui nous ferait sortir des limites restreintes de cet exposé. Nous nous contenterons de signaler l'existence d'un procédé assurant automatiquement la correction par masque, et qui constitue un des derniers progrès réalisés dans le domaine de la photographie en couleur. Dans ce procédé les coupleurs sont eux-mêmes colorés, ils possèdent la *même absorption indésirable* que les colorants auxquels ils donnent naissance, ainsi le coupleur du pourpre est légèrement jaune, puisqu'il absorbe la même proportion de bleu que le pourpre. La couche d'émulsion sur laquelle se forme l'image magenta présentera donc la même absorption pour le bleu sur toute sa surface, aussi bien aux endroits où le coupleur a été transformé en colorant, en se décolorant lui-même, qu'à ceux où il est resté intact. Toute l'image sera donc comme constituée par un colorant pourpre, sans absorption indésirable, mais doublée d'un filtre jaune uniforme. De même le coupleur du bleu-vert absorbera un peu de bleu et un peu de vert au moyen de la *coloration rouge-orangée* qui lui est donnée.

La correction par masque automatique n'est applicable qu'à des films négatifs puisque les résidus des coupleurs colorés donnent à l'image une forte coloration de base orangée qui ne peut être compensée qu'au tirage.

Nous voyons par ces quelques considérations qui viennent d'être développées, que si les procédés actuels de photographie en couleur n'ont pas encore atteint toute la perfection désirable, de très grands progrès ont néanmoins été réalisés et qu'il faut conserver l'espoir, malgré les difficultés qui restent à vaincre, de voir un jour prochain les efforts de nos savants et techniciens aboutir aux résultats que nous souhaitons, c'est-à-dire à l'amélioration et à la simplification des procédés. La photographie en couleur sera à ce moment vraiment à la portée de tous.

En ce qui concerne les applications de la photographie en couleur, celles-ci sont déjà très nombreuses et utilisées dans presque tous les domaines. Nous connaissons déjà le grand succès remporté par les

procédés inversibles auprès des amateurs qui tendent de plus en plus à abandonner la photographie en noir et blanc. Les procédés en couleurs dits « négatif-positifs » s'ils ne sont pas encore entrés dans la pratique courante sont précieux pour tous les travaux de reproduction, pour l'illustration, la photographie publicitaire, la photographie de mode, la documentation sous toutes ses formes, les arts graphiques, la photographie scientifique et la photographie industrielle (photographie des câbles électriques, enregistrement des effets lumineux, photomicrographie, etc...).

Pourtant lorsqu'il est question de couleur dans les milieux où l'on parle d'art photographique, des discussions passionnées opposent régulièrement ceux qui préfèrent attendre que les procédés aient atteint le degré de perfection désirable, à ceux qui cherchent à les utiliser déjà dans leur état actuel.

Le problème est souvent mal posé, se résumant à

une comparaison du noir et blanc avec la couleur et l'éventualité pour celle-ci d'éliminer complètement l'image monochrome. En fait il y aura toujours place pour les deux, il ne s'agit pas en effet, d'une compétition mais d'un élargissement de nos possibilités de créateurs d'images d'une extension de nos moyens d'expression.

Un fait est certain, c'est que depuis son apparition sur la Terre, l'homme a toujours été attiré par les couleurs, qu'il les a toujours utilisées chaque fois qu'il en a eu le moyen, que l'impossibilité pour la photographie de traduire autrement que par du blanc, du noir et tous les gris intermédiaires l'ensemble des valeurs colorées a été pendant longtemps une véritable infirmité et qu'il faut nous réjouir de pouvoir maintenant conserver la véritable image de ce que les yeux voient, y compris l'harmonie des teintes et des tons qui se manifeste dans tous les spectacles que la nature nous offre si généreusement.

ELOGE DE LA COULEUR

L'ÉLOGE DE LA COULEUR

par M. BABONNEAU

*Docteur de l'Université,
Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,
Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse,
Ingénieur à Electricité de France.*

I. — UNIVERSALITE DE LA COULEUR

Aux tièdes rivages de la mer hellénique, dans la splendeur du soir qui les pénètre, quelques philosophes se confient leurs pensées.

Azur céleste assombri déjà par l'approche de la nuit, rougeoiement du couchant, nuages empourprés qu'ourle une frange d'or, émeraude des flots bordés d'écume argentée, ambre fauve de la grève qu'ils foulent, irisations nacrées des coquilles marines, l'inspiration née du spectacle, habite leur maître Démocrite et son vénérable initiateur Leucippe.

A l'aube de la connaissance scientifique, ces précurseurs avançaient déjà que la couleur n'est pas une propriété intrinsèque des atomes mais qu'elle procède de leur mouvement.

Transmis par Epicure leur enseignement sur la nature des choses est longuement commenté par Lucrèce (1) qui consacre l'explication des couleurs de longs passages de son « *De rerum natura* ». Combien émouvante est la lecture de ces pages où l'on découvre que l'intuition grecque avait, en avance de vingt-quatre siècles, pressenti l'essentielle universalité de la couleur.

La première particule du cosmos, qu'échauffa le mouvement, créa aussi la première lumière colorée, l'éternellement vivante et omniprésente couleur. Celle-ci définit chaque corps dont elle représente la personnalité, la signature à travers l'espace. Echauffez tel atome, il en résultera toujours et partout la même émission chromatique, les mêmes raies spectrales, la même sensation. Le rayon de lumière blanche, que le prisme décompose, s'étalera toujours suivant la même et inexorable loi. La couleur a fourni la preuve de l'unité structurale du monde perceptible, elle permet l'étude de ses transformations.

Nous ne pensons pas inutile de rappeler ici que l'on doit considérer la couleur sous ses deux aspects : le premier celui de la couleur en tant que radiation émise. C'est la couleur-origine, la couleur initiale sans laquelle ne serait pas le second : la couleur d'un corps opaque ou même translucide, simple reflet — étymologiquement le mot est juste — de la couleur radiation.

On dit qu'une lumière est rouge quand ses radiations correspondent à une raie, à une plage rouge du spectre. On dit qu'un corps est rouge lorsque, absorbant toutes les radiations autres que le rouge, il ne renvoie, il ne réfléchit que la lumière rouge. La langue, devrait, à mon sens, être plus riche et réserver à chacun de ces aspects de la couleur deux vocables différents, mais on trouverait bien d'autres exemples d'une telle imprécision, ne serait-ce que mot langue pour désigner aussi bien un muscle que l'ensemble des sons articulés.

D'autre part le mécanisme physiologique de notre œil impressionné par la couleur fait que nous percevons cette différenciation de la lumière comme une sensation. Celle-ci, transmise au cerveau par le système nerveux optique, est l'aspect final de la couleur qui nous permet, à nous, voyants, d'en disserter.

Dans le monde minéral, la couleur est directement liée à la matière, que celle-ci produise ou réfléchisse les radiations. C'est le firmament peuplé d'étoiles ou de soleils dont la vie s'étudie à travers les colorations de la lumière qu'ils émettent. L'âge, le poids, la composition chimique, la vitesse relative des mondes lointains et inaccessibles nous sont connus par leurs couleurs. Ce sont les couches translucides de l'atmosphère où se jouent, s'irradient, se décomposent les rayons : aurores, crépuscules, nuages clairs, sombres ou empourprés, halos, arcs en ciel, aurores boréales. C'est le milieu aquatique qui reflète, déforme, transforme à l'infini les teintes du sol ou du firmament. C'est la terre elle-même dont les composants multicolores personnalisent pays, régions, sites, gisements. Et que dire des pierres rares, où la combinaison des sels minéraux aboutit à des comprimés de couleur pure : émeraude, améthyste, topaze ou rubis?

Si dans le monde végétal une teinte domine, engendrée par la fonction chlorophyllienne, à côté d'elle quelle variété, quel enchantement ! C'est la féerie du printemps où les rameaux se parent des colorations les plus tendres : roses, jaunes, verts légers, frais comme des nouveaux-nés. Mille fleurs viennent les parsemer, réalisant une gamme sans fin de coloris, attirance nécessaire, voulue par la nature pour la

continuation des espèces. Puis c'est la plénitude de l'été, avec toute la virulence massive des frondaisons vertes, le feu des moissons jaunissantes et la lourde promesse échelonnée des fruits vineux, dorés ou écarlates. L'automne amène la succession des teintes fauves, des sanguines, des violets. De vives, les couleurs se font pâles aux morsures du froid. Le support minéral réapparaît à nu avec l'hiver comme pour nous rappeler que cette couverture végétale n'est qu'un accident, une parure terrestre, une pellicule vivante combien fragile dans un minuscule intervalle de température, de pression, d'équilibre chimique. Avec cet engourdissement provisoire, image cyclique de la mort organique, les teintes affadies s'avivent aux scintillations du gel.

Apportant à tout cela sa note mouvante, le monde animal s'intègre dans cette symphonie de couleurs. Regardez les êtres primitifs: animacules du plankton recouvrant la mer de leur fluorescence laiteuse, coraux, conques et coquillages marins délicatement nuancés, mollusques à la transparence nacrée, étoiles de mer roses, rouges ou violettes, poissons multicolores aux écailles souvent rutilantes, aux nageoires parfois comparables à des robes de bal, reptiles jaunâtres, verdâtres ou bleuâtres, oiseaux de toutes couleurs et combien rutilantes, canaris, rouges-gorges, oiseaux-mouches, oiseaux des îles ou des tropiques, faisans, kakatoès, perruches ou perroquets huppés ou non, mais tous parés de somptueux plumages. A lui seul, le paon les éclipe par sa livrée. Dans le monde des insectes, il est des classes où la variété et les combinaisons de couleurs sont un véritable enchantement, un jeu subtil indéfiniment renouvelé. Les merveilleux coloris des papillons ont suscité des collectionneurs passionnés. Les animaux supérieurs, les mammifères ne le cèdent en rien aux autres espèces. Fourrures délicates, pelages unis ou bariolés, peaux légères laissant deviner le vermillon du sang. La coloration du milieu influence directement la pigmentation de bien des habitants des régions polaires, désertiques ou tropicales (ours, chameaux, félins). Le caméléon peut instantanément mettre son épiderme en harmonie avec la dominante qui l'entoure. Il a fourni l'exemple naturel du camouflage employé lors des guérillas entre peuplades primitives puis abondamment utilisé au cours des modernes conflits.

Chez l'homme enfin, la couleur de la peau différencie les races. Celle des cheveux ajoute un caractère complémentaire et toute une gamme donne aux yeux leur personnalité: du bistre clair au noir de jais, du vert mordoré au bleu de jais.

On peut dire que tout est couleur dans la nature et que, s'il existe des corps incolores et translucides, ils ont été créés pour que l'on puisse voir tous les autres, les corps colorés et corps émetteurs de couleur, pour qu'on puisse mieux les voir même grâce aux effets physiques de réflexion, de diffusion et de diffraction qui estompant, avivant, décomposant, multipliant ou mélangeant les rayons lumineux donnent aux couleurs toute une gamme de possibilités nouvelles, un peu comme les harmoniques des sons musicaux enrichissent ceux-ci de sonorités éclatantes ou de timbres étonnants.

Notre œil distingue aisément plus de cent couleurs. Il est possible de réaliser par mélange des trois fondamentales avec du blanc ou du noir, un nombre indéfini de coloris. C'est ce nombre illimité qui rend si difficile la reconstitution exacte d'une teinte ou l'assortiment de deux objets. Les noms classiques ne suffisent pas aux baptêmes on fait appel à des analogies allant d'Écume à Ardoise, en passant par Perdrix, Bonbon, Tabac pour aller jusqu'à Gorge

de pigeon et au fameux Cuisse de Nymphé émue. Il existe plus de deux mille de ces termes imagés.

Dans le monde qui nous entoure, dans notre univers proche ou lointain, en nous-mêmes, la couleur domine ainsi l'aspect physique des choses déjà perceptible à nos sens grâce aux dimensions de l'espace. A ces dimensions, la couleur, portée par la lumière, donne l'élément distinctif principal.

Si deux boules de même matière et de même diamètre sont identiques, elles ne le sont plus si l'une est rouge et l'autre bleue. Nous n'aurons aucune raison de préférer l'une à l'autre dans le premier cas; il n'en sera plus de même dans le second. Exemple enfantin que nous pouvons compliquer à l'infini en variant les formes, les colorations et l'idée de possession à tous ses degrés.

L'aspect et la nature physique du milieu conditionnent les données physiologiques et même psychologiques de nos relations avec le monde extérieur et de nos conceptions sur celui-ci. Les effets subjectifs des couleurs sont intenses. Environné de couleurs, baigné de couleur, vivant dans un univers coloré, l'homme est amené à penser « coloré », à créer « coloré ».

Tout ce qui découle de lui,
ses créations physiques,
ses créations physico-psychiques

et même ses créations purement psychologiques sont peu ou prou influencées par cette notion de couleur.

D'après le plan ainsi tracé, faisons le tour de cette omni-présence de la couleur dans les conceptions et les activités humaines.

Suivons-là depuis ses manifestations primitives les plus proches de la matière jusqu'aux plus hautes, aux plus empreintes de la spiritualité.

II. — LA COULEUR DANS LA CREATION PHYSIQUE

L'emploi de la couleur dans les créations physiques peut être involontaire et spontané ou bien artificiellement voulu.

Les matériaux utilisés ont une coloration naturelle que l'homme emploie telle quelle ou modifie en les imprégnant ou les recouvrant de pigments. Par décence ou nécessité de protection apparaissent les vêtements. La fourrure ou le plumage affublaient l'homme primitif de la livrée des bêtes qu'il dépouillait. Il modifia bientôt la teinte naturelle des poils animaux ou fibres végétales qu'il filait et tissait car il avait remarqué les propriétés calorifiques du clair et du foncé.

Ce fut ensuite l'habitation. Les parois de la maison furent grises, blanches, jaunes ou rouges selon qu'elles étaient de granit, de calcaire, d'argile crue ou de terre cuite. Toits de paille, d'ardoise ou de brique, plus tard de béton, d'asphalte, de métal ou de produits de synthèse différencièrent aussi considérablement la teinte générale de l'habitat humain. De ces colorations sont nées les impressions de variété ou d'uniformité, de tristesse ou de gaieté agissant sur le comportement et le caractère. Armes, mobiliers, outils, instruments de toute sorte, utilitaires ou décoratifs, étaient naturellement de la couleur de leurs constituants.

Les dépouilles animales donnaient l'ivoire, la corne, le cuir, le parchemin. Avec le monde végétal, on avait les couleurs bigarrées de la vannerie grâce aux lianes, aux écorces, aux ajoncs, aux osiers; les teintes variées bois, noir d'ébène, rouge acajou, brun de chêne, jaunes et blancs des diverses essences de la forêt. Enfin l'apport minéral fournissait les gris et

les bronzes métalliques, les bruns, les grenats, les oranges, les jaunes de l'argile, le blanc du kaolin, les colorations très variées et souvent somptueuses des roches dures employées à l'état brut ou poli.

L'effet du pur hasard ou de l'emploi normal des ressources naturelles locales ou régionales se complique rapidement de contingences nées de l'utilité ou de la fantaisie.

La couleur permettrait de différencier et de reconnaître des objets de même forme ou de forme approchante. Par nécessité ou commodité l'homme colora donc artificiellement ce qu'il fabriquait. Vêtements, instruments acquirent grâce à leur coloration un air personnel.

Dans ce domaine, la couleur sert aujourd'hui à toutes sortes de différenciations ou d'uniformisations : papiers administratifs, dossiers, titres de transport. L'expression « le jaune », « le rose » remplace souvent dans le langage des bureaux celle de « double de lettre » de « duplicata » ou « triplicata ». Cette destination simplement utilitaire se retrouve dans la protection des surfaces de bois ou de métal contre la pourriture, la corrosion et simplement les souillures, constructions ou éléments fixes, moyens de transport, wagons, automobiles et cela jusqu'au jour où s'en mêle la fantaisie, la mode.

On demandait un jour à Ford quelle couleur il préférerait pour la peinture de sa voiture personnelle. « N'importe laquelle, répondit-il, pourvu qu'elle soit noire ». Rejoignait-il ainsi ceux qui, dans une volonté d'embrigadement dans une même règle imaginent les « uniformes », vêtements identiquement coupés et colorés, nécessaires à la discipline militaire, à la tradition corporative, à la correction des métiers de service public, au mysticisme religieux ou à la fantaisie des confréries?

Cet emploi de la couleur pour différencier ou uniformiser les objets ne tarda pas à se transformer en un besoin d'enjolivement, obscurément ressenti. Et l'on colora pour des raisons de pure esthétique. Dès les premiers âges de l'humanité on perçoit ce besoin de coloration systématique, toujours sensible chez les peuples primitifs; on sait leur habileté à manier les ocres et les rouges de terres, le noir de fumée, le blanc de chaux, les poudres naturelles vertes ou bleues obtenues par décoction, écrasement de matières végétales, minérales ou même animales. Il en enduisent instrument, outils, maisons et jusqu'à leurs corps. On a beaucoup continué depuis dans cette voie.

La représentation des objets par des moyens manuels ou automatiques est, elle aussi, à son premier stade, une création de nature physique, les conceptions abstraites ou artistiques n'apparaissant qu'en deuxième lieu. Dès le début satisfaction réelle n'est obtenue que si la reproduction est colorée à l'image exacte ou approchée de l'original. Evoquons ici l'imagerie dite « d'Epinal », termes devenus synonymes de reproduction populaire de dessins colorés. Au dessin (crayon, encre, fusain) se superpose ou se substitue la peinture. Si la représentation est en volume, sculpture ou bas-relief, on la colore aussi parfois avec plus ou moins de bonheur. A peine la photographie est-elle inventée que des chercheurs s'évertuent à lui faire rendre les couleurs et y réussissent; le film projeté en noir n'est que le balbutiement du cinéma, converti rapidement lui aussi à la couleur et, si la télévision commence par la monochromie, seules des complications techniques et les difficultés financières de réalisation retardent son essor en polychromie. L'imprimerie est longtemps demeurée noire car on lui demandait surtout la diffusion des textes, réservant à l'estampe le soin de multiplier les vues colorées. Parchemins d'autre-

fois et livres de luxe d'antan avaient toutefois bénéficié d'enluminures aux teintes rares. Mais, dès que la reproduction par clichés typographiques se répandit, on chercha, on trouva le moyen d'imprimer des couleurs superposées pour restituer avec fidélité les photographies d'œuvres d'art ou de n'importe quel sujet.

Couleur, couleur, couleur. Partout règne la couleur. Nous nous apercevons que ce besoin de colorer, de vivre dans la couleur ne part pas seulement de l'idée d'imiter la nature, qu'il ne repose pas uniquement sur le hasard dans ses réalisations.

Il y a autre chose.

La sensibilité à la couleur fait partie intrinsèque de la nature humaine, elle-même reflet de la structure de l'univers.

Nous ne partageons peut-être pas entièrement les croyances de ces hermétistes qui octroient à chaque individu, à chaque action, à chaque sentiment, une couleur particulière de la même façon que les astrologues, les occultistes ou les magiciens prétendent attribuer à tout être humain l'influence d'une planète dominante, un caractère lie au faciès, des habitudes en liaison avec le prénom, une existence déterminée par le quantième de la naissance, une destinée inscrite dans les lignes de la main. Dans de tels systèmes, le bleu, couleur noble, appartiendrait aux sentimentaux, aux idéalistes, le jaune, couleur du commandement, serait celle des flegmatiques, des cérébraux, le rouge, couleur du danger, correspondrait aux colériques, aux musculaires. Les couleurs composées donneraient le mélange des caractères extrêmes: à l'apathique le vert du mysticisme, au sanguin l'orangé, au nerveux le pourpre. L'assombrissement de l'intensité du caractère qu'elle impose, aboutissant vers le noir à l'infinie passion, tandis que l'altération de la teinte s'atténuant vers le blanc se traduirait par un glissement du caractère vers l'état amorphe d'indifférence.

L'antiquité assimilait l'influence de certaines couleurs à celle des planètes et des dieux qui les personnifiaient. Mars le rouge donnait colère, impulsivité; Jupiter le bleu: vérité, loyauté, paix; Vénus la verte était mère de l'espérance. Le Soleil (le blond Apollon) était signe de foi et de sagesse, tandis qu'avec la Lune (la blonde Phoébé) s'accordaient pureté et justice.

Sans nous ranger complètement à des opinions aussi tranchées, nous devons constater qu'on a depuis longtemps reconnu aux couleurs des propriétés particulières qui donnent à chacune d'elles une valeur, une vertu propres. D'autre part tous les individus ont leur couleur préférée et il s'établit une hiérarchie dans ce choix. On a pu établir l'ordre de préférence des couleurs fondamentales pures, bleu, rouge et jaune, suivies des couleurs composées complémentaires, l'orangé, le vert, le pourpre.

Se rencontrant avec les hermétistes, les physiciens rigoristes (ou seulement parfois empiriques) ont distribué les couleurs sur un spectre circulaire (le cercle chromatique) comportant huit colorations principales réparties suivant les points cardinaux ou ordinaux. D'autres théoriciens utilisent une figure triangulaire dans laquelle les fondamentales sont aux sommets et les complémentaires sur les côtés. Ces systèmes, et tous ceux qui en découlent, se compliquent de constructions en volume permettant, par un glissement vers le blanc ou vers le noir, de représenter toutes les possibilités de coloration, avivées, éteintes ou lavées.

Enfin, il est prouvé que les couleurs influent sur le comportement des êtres vivants. Les radiations rouges accélèrent le développement des plantes que ralentissent les bleues ou les vertes. Les rayons vio-

lets ou bleus sont favorables à l'éclosion des embryons retardée au contraire par l'exposition au rouge ou au vert. On sait que les moustiques fuient une certaine émission vert jaune, mais sont attirés par la lumière bleuâtre; le taureau se rue sur le rouge et nous pourrions citer maints exemples intéressant les uns des êtres sur lesquels l'expérimentation est seulement observable, tels plantes ou animaux, les autres qui peuvent eux-mêmes indiquer leurs préférences, tels les humains.

Le rappel de ces principes, les uns d'origine purement physique ou physiologique, les autres de pure psychologie, montre l'importance qu'il convient d'attribuer à la couleur dans la création *subjective*. Par ce vocable, nous entendons celle qui n'est pas issue uniquement de concepts matériels, mais encore de la volonté et des sentiments, en bref, celle dans laquelle l'esprit conscient ou inconscient a une part prépondérante.

Nous entrons ainsi dans le domaine des colorations dirigées. Se présente ainsi la mise en couleur d'objets pour des fins lucratives.

La publicité est friande de couleur. L'affiche a besoin d'être violemment colorée pour porter ce coup de poing dans l'œil qu'on lui demande et avec des colorations telles qu'elle ne choque pas, qu'elle s'harmonise avec le produit vanté et parfois avec le lieu où elle est apposée.

La publicité nocturne, rouge à l'origine avec le néon, a acquis une grande puissance d'attraction, grâce aux possibilités multicolores des gaz et des poudres qui garnissent les tubes luminescents.

On colore les marchandises pour mieux les vendre. Cela peut donner d'heureux effets. Les matières plastiques nous en fournissent un exemple brillant. On colore également le cadre ou le contenant pour égayer, faire ressortir les produits présentés. C'est une des qualités de l'étalagiste, du décorateur, de l'ensemblier, de bien harmoniser les couleurs; couleurs attractives également, couleurs du rêve de nos jeunes ans, celles des jouets d'enfants.

Et nous glissons dans le domaine de la couleur qui flatte. Autrefois, les costumes régionaux étaient figés dans leurs formes et leurs couleurs et cela seyait ou non à nos compagnes. Aujourd'hui, la mode féminine est friande de modifications fréquentes du coloris des vêtements. Cette tendance à la variation incessante de la mode est suivie par certaines, moutonnement fidèles aux canons et aux édits des meneurs de jeu intéressés, tandis que d'autres savent adapter à leur propre teint les coloris d'étoffes dont un choix infini s'offre à leur goût. L'adaptation de la couleur du vêtement procède de cette même raison profonde exacerbée par le fard lui-même, presque uniquement de nature colorée. Nous pensons trouver là tous les degrés de la volonté d'attraction féminine: correction, coquetterie, sex-appeal, avec toutes les déviations inhérentes à la nature humaine, à l'éternel féminin.

Avec quel art les femmes ont-elles su de tout temps, avant et depuis Nefertiti, « réparer des ans l'irréparable outrage » ou simplement aiguïser leur beauté grâce au rouge des lèvres, au bleu vert des paupières, aux pastels multicolores des poudres épidermiques. La teinture des cheveux, de naturelle tourne même au violet, au bleu, au rose, et le fard se niche jusque sur les doigts des pieds; nous n'insisterons pas dans cette voie.

Les rattachants à cette famille des couleurs qui flattent, nous ajouterons celles que l'on emploie en gastronomie. Si l'odeur, le fumet, l'onctuosité, le goût sont les qualités dominantes des mets, la couleur est aussi un élément important dans leur présentation. Pâtisseries, confiseurs, chefs, ménagères

même, en savent quelque chose. Elle n'est malheureusement souvent qu'élément de conformisme: vert menthe ou pistache, jaune citron ou jaune d'œuf, rose fraise, framboise ou groseille, etc...

Légumes, fruits, sauces, compositions variées, gagnent à se montrer sous une couleur agréable et naturelle. La belle couleur ajoute à la qualité des vins, enjolive les liqueurs et toutes les boissons. Mais on sait qu'elle n'est souvent qu'un trompe-l'œil quand elle ne constitue pas un danger, si elle provient d'une exagération artificielle.

De simple flatterie pour les sens, la couleur peut devenir une nécessité fonctionnelle due à ses propriétés physiologiques. Telles sont les applications au travail, aux loisirs, au repos de l'homme:

- Ateliers aux murs de teintes chaudes et claires, ocre beige ou chamois, machines se détachant en valeurs vertes ou bleues;
- Ecoles aux murs vert d'eau, bleu ciel, gris perle, corail; tableaux verts au lieu des anciens tableaux noirs, cahiers aux couvertures rutilantes mais au papier vert très doux;
- Bureaux de travail ou pièces de séjour aux teintes apaisantes, vert d'eau, ivoire, facilitant la tâche ou la relaxation;
- Chambres à coucher blanc rosé, pourpre très clair ou gris platine favorables au repos; cuisines ivoire ou jaune clair; salles d'eau bleuâtres.

Chaque pièce, chaque lieu où nous séjournons a ses caractéristiques de coloration optima.

Et, dans ces pièces, la couleur des sources lumineuses importe également au premier chef. Celle qui se rapprochent le plus de la lumière du jour, avec un glissement vers les radiations jaunes sont les plus reposantes. L'excès de radiations bleues est fatigant et modifie désagréablement la teinte réelle des objets.

La connaissance de ces lois permettra toutes les adaptations: atmosphère la plus propre aux malades d'un hôpital ou d'une clinique, teintes adaptées aux salles d'opération pour éviter la fatigue oculaire du chirurgien, ambiance la meilleure d'une salle de restaurant avec le respect de la présentation des plats, bonne visibilité dans les salles de jeu. Dans les locaux commerciaux, cette correction des sources évitera certains effets désastreux dont pâtisseries, bouchers, charcutiers ont été les victimes à la suite d'une installation d'éclairage où les rayons bleus dominants verdissaient les gâteaux, faisaient les viandes, éloignaient les clients.

La présentation des étoffes ne supporte pas non plus une erreur de coloration des lampes d'éclairage.

Fonctionnelles aussi les couleurs indications, celles qui parlent seules à l'esprit sans besoin d'inscriptions indicatives: les couleurs adaptées pour la sécurité. Les signaux de chemin de fer, les signaux routiers, les signaux d'atelier ont un code quasi-universel. Rouge: arrêt; jaune: danger; orange: attention, chaleur; blanc: tracés de parcours; vert: passage libre; bleu: attention. Le matériel de lutte contre l'incendie est naturellement rouge, le vert signale les postes de secours, les sorties de secours. Poussant l'utilisation des couleurs-indications à l'extrême, on trouve toutes les méthodes de classement, d'identification de produits, de marchandises. Toutes ces teintes codifiées ont leur signification issue de l'instinct. Crainte du sang: rouge; chaleur: orange; méfiance: jaune; tranquillité: vert.

Evoquons encore en quelques mots la « chromothérapie » la couleur qui soigne ou qui guérit. A la

limite du rouge, on connaît les vertus thérapeutiques de l'infra-rouge, à cheval sur des radiations visibles et simplement calorifiques. Le rouge lui-même a depuis fort longtemps été utilisé pour soigner variole, scarlatine, varicelle et même rougeole. Les névralgies sont calmées par le bleu ou le violet: la lumière verte a une action sur les maladies nerveuses; le blanc calme les excités et les obsédés; l'orangé facilite la digestion par le port de lunettes de cette teinte; le violet permettrait de traiter les maladies mentales. Ne négligeons pas les possibilités curatives des « bains de couleur ».

Les couleurs ont conquis naturellement leurs lettres de noblesse grâce à leurs vertus psychiques, à leur utilisation comme symboles.

Toutes les églises ont donné des significations aux couleurs: le rouge des martyrs et de la charité, le jaune de la puissance et du commandement, le vert de la foi et de la vérité, le bleu de la sagesse, la pourpre de la dignité, le violet de la pénitence, le blanc de l'innocence et de la vertu, le noir des fins dernières. Le symbolisme profane donne des significations très voisines: au rouge, l'amour; au vert, l'espérance; au bleu, la sagesse; à la pourpre, la dignité; au blanc, l'innocence et la pureté; au noir, le deuil et le néant.

Ce symbolisme se retrouve dans les jeux, dans les blasons héraldiques, dans les décorations, dans les étendards. Le sportif défend les « couleurs » de son club, le jockey celles de son écurie. Les « couleurs » c'est le drapeau, c'est le symbole de la patrie, on les respecte, on les salue, elles galvanisent le courage, on meurt pour les défendre, elles recouvrent la dépouille du soldat.

IV. — COULEURS

DANS LA CREATION PSYCHOLOGIQUE

Poursuivant notre ascension, nous en arrivons aux couleurs accompagnant les créations de caractère purement psychologique ou physio-psychologique.

Le langage utilise un grand nombre d'expressions « colorées » au sens propre comme au sens figuré. Les réactions physiologiques ayant un rapport direct entre la couleur et l'expression sont à la base de beaucoup d'entre elles: voir la vie en rose, voir rose, être rouge de honte ou de colère, vert de rage, broyer du noir, séries, idées, actes ou romans noirs, donner blanc-seing, carte blanche, faire une affaire ou un mariage blancs, être « fleur bleue », se mettre au vert. Je crois vous en faire voir ou entendre de toutes les couleurs! Mais ce n'est pas fini, car d'autres expressions sont plus hermétiques: faire chou blanc, éminence grise, prise mine, être gris (ou noir), rire jaune, passer au bleu, en être bleu, avoir une peur bleue, une messe noire, un froid noir, un courtier marron, la langue verte (argot), un jaune (traître), un bleu (nouveau), et j'en passe. Certaines expressions « colorées » le sont par antithèse: sang bleu, enfer vert. La géographie abonde en images: mers noire, blanche, rouge ou jaune: Côte d'azur, d'argent, vermeille ou d'émeraude; Blue mountains Montagne ou Forêt Noire, Yellowstone, Grünwald: can vert négre, gris nez. Les maladies: fièvre jaune, peste noire, maladie bleue. En politique, les opinions ont des couleurs pour symbole, issues de l'emblème choisi, lequel, à l'origine avait lui-même une signification. On parlera donc de nuances, d'opinions bigarrées de dosages de teintes et on votera des motions « nègre-blanc »! la couleur du vêtement remplace l'appellation exacte d'une dignité ou d'un métier: l'habit vert, la cape violette, la pourpre romaine, la robe noire,

les cols bleus; nous avons le souvenir des chemises noires, brunes, vertes d'avant 1939. On dira aussi pour désigner des décorations: le ruban rouge, la promotion violette et, par une double astuce due à la couleur du ruban et à la profession de ceux qui la reçoivent, l'une d'elles est devenue « le poireau ».

Dans le commerce, les transports, les records, on trouvera le train bleu, la flèche bleue, le ruban bleu; un coureur devient le « maillot jaune ». La teinte du paquet de tabac fait distinguer le « gris », le « bleu », le « jaune » et le « vert »; et, toujours en vertu de l'extention du contenu au contenu, l'Électricité de France applique le « tarif vert », du nom du dossier en ayant contenu les premières études. Toute voiture automobile doit posséder sa carte grise... nous n'en finirons pas!

Reliant couleur, langage et musique, évoquons toutes les expressions qui empruntent leurs termes à un mélange d'optique et d'acoustique: « symphonie de couleurs », « gammes de couleurs », « orchestrer les couleurs », « faire vibrer les couleurs », et cela nous permettra de glisser tout naturellement vers les relations entre la couleur et la musique qui sont celles de tout spectacle orchestré, des projecteurs, les jeux d'orgues ont rendu plus facile cet accompagnement coloré des chants, des revues, des danses, des acrobaties. Certaines créations leur donnent une ampleur totale tel ce film « Fantasia » de Walt Disney où tout est tout à la fois couleur et son intimement liés. Les spectacles « Son et Lumière » sont de véritables symphonies musicales colorées. L'auteur est-il présomptueux en rappelant ici qu'il réalisa pour la première fois en France, le 28 juin 1936, à vingt kilomètres de Toulouse, le premier Son et Lumière intégral, sans paroles bien entendu.

Il est naturel que la poésie, art musical du langage, se soit plu à se parer souvent d'un vêtement de rayons colorés. Si la poésie classique, soucieuse surtout de sentiments, est assez fermée à l'harmonie des teintes, avec le dix-neuvième siècle les poètes découvrent la beauté de la nature et désormais la couleur va chanter dans leurs vers (ou leur prose d'ailleurs); avec Chateaubriand les tableaux prennent une précision colorée très pittoresque. Relisez le portrait de Vellada ou encore « Une nuit dans les forêts du Nouveau Monde ». Romantiques et surtout Parnassiens font des orgies de couleurs: Hugo, Gautier, Leconte de Lisle... la simple évocation de leur nom fait monter en nous des vers colorés — José Maria de Hérédia accumule dans le Récif de corail, les reflets chatoyants:

... d'un coup de nageoire en feu
Il fait, par le cristal morne, immobile et bleu
Courir un frisson d'or, de nacre et d'émeraude.

Que dire de Baudelaire ou de Rimbaud? Voyez surgir dans « Le Bateau ivre » les bateliers cloués « aux poteaux de couleurs ». Voici enfin son fameux sonnet des voyelles dans lequel, imitant les théoriciens d'audition colorée du dix-huitième siècle, il prétend subjectivement attribuer une couleur à chaque voyelle:

A noir, E blanc, I rouge, U vert, O bleu...

Les titres eux-mêmes sont souvent colorés depuis « Le Rouge et le Noir » de Stendhal, « L'Oiseau bleu » de Maeterlinck, « La Jument Verte » de Marcel Aymé, « Les Vertes Années », « Les Amours jaunes » de Tristan Derème, « Le Lys Rouge » d'Anatole France, « Ombres Blanches » de Douglas O'Flaherty, « Les Prismes poétiques » de Jules de Resseguier... Quant à la littérature enfantine, elle a toujours fait appel à des couleurs prestigieuses pour bercer nos premiers rêves:

*Oiseau bleu, couleur du temps,
Vole à moi promptement...*

Le bibliophile aime recouvrir ses ouvrages de reliures dont la teinte est en rapport avec le genre du livre. On a même tenté des impressions sur papier dont la teinte s'harmonise avec le texte. Un cœur sensible s'attendrira en lisant Jocelyn sur un délicat papier rose...

Et nous fermons le cycle du domaine humain de la couleur en retournant à l'art visible, cet art qui ne se contente plus de reproduire, mais interpréter ou même créer du nouveau, de l'inédit, par la couleur pure.

Impressionnisme, pointillisme, fauvisme, recherchaient des synthèses, cubisme, surréalisme, toutes les écoles abstraites demandent à la couleur autant sinon plus qu'à la forme, la traduction d'un état d'âme, d'une idée. Même le peintre sage mais évolué ne copie plus, il analyse, transforme selon son goût ou son jugement et recrée un spectacle nouveau grâce au trait, puis à la couleur. Celle-ci n'est plus une traduction physique, mais une interprétation cérébrale de ce qu'il perçoit.

Les fleuristes, les paysagistes sont, à leur façon, des artistes qui dirigent la nature pour mettre en valeur des formes et des teintes nouvelles.

N'ayons garde d'oublier que, dans les divers modes d'expression littéraire, musical, graphique, on dit d'une description, d'un thème, d'une scène, d'une image qu'ils sont « couleur locale », voulant ainsi traduire l'exactitude, le pittoresque, la valeur folklorique dans toutes leurs nuances, mots qui reflètent encore l'importance de la notion de couleur dans la moindre démarche de l'esprit.

Nous n'achèverons pas ce chapitre sans flétrir encore toutes les fautes de goût que provoquent les juxtapositions inconséquentes des couleurs : fards outranciers, modes criardes, décorations intérieures sans goût, sont une offense au sens de la mesure, apanage du Français. Malheureusement, moins limitées dans le temps ou dans l'espace, sont les atteintes à l'harmonie des grotesques badigeons dont on revêt les cubes de béton qui transforment Toulouse à la vocation rose.

V. — HYPOTHESES SUR LA COULEUR

L'éloge d'une personne ou d'une chose peut se comprendre de mille façons. La plus générale, que nous avons tenté de suivre, est d'envisager successivement tous ses aspects favorables, tout en levant parfois discrètement le voile sur les côtés critiquables s'il en est.

On peut compliquer cet éloge en essayant de se représenter ce que serait le sujet dans certaines conditions supposées. Tournure d'esprit particulière, qui n'est pas seulement le propre des scientifiques, des romanciers d'anticipation ou de science-fiction, puisqu'on la rencontre aussi chez de purs rêveurs philosophiques.

Ceux qui m'ont suivi avec la facilité inhérente à leur préparation ou la difficulté due à leur méfiance pour une dissertation où la technique s'est mêlée à la poésie, graviront peut-être avec moi la dernière marche d'un pas mal assuré et je m'en veux de leur infliger ce surcroît, mais je ne résiste pas au plaisir d'énoncer ces suppositions.

Imaginons d'abord un monde sans couleurs ou plus exactement un univers monochrome. Cela nous est facile puisque des sources émettant une seule radiation colorée, par exemple le jaune du sodium, ont été conçues et installées industriellement. Dans un tel univers nous n'aurions pas l'idée de coloration,

mais seulement celle d'intensité de lumière; nous aurions une échelle de sensations allant de la plus faible à la plus aveuglante. Bien entendu, la conception du « blanc » n'existerait pas, mais celle du « noir » subsisterait. Plongés dans ce monde monotone, nous changerions certainement de comportement, car tout serait bouleversé dans la nature. La matière n'aurait plus les mêmes réactions ni l'être vivant la même structure. Etant nés dans cet état, nous ne pourrions imaginer les couleurs... à moins que... à moins que nous ne fassions un raisonnement analogue à celui qui consiste à nous figurer qu'il peut y avoir des sensations que nous ne percevons pas.

Et nous pensons à ces couleurs qui se trouvent au-delà des extrémités du spectre visible. Dans le domaine auditif, il est des êtres qui entendent d'autres sons que nous, des chiens qui répondent à des sifflements silencieux pour nos oreilles; il y a ces ultrasons que captent des récepteurs spécialement conçus. De la manière, il y a, débordant le spectre, cet ultraviolet que voient réellement certains êtres, tels les oiseaux et les insectes et cet infrarouge dont nous percevons seulement les effets calorifiques. La plaque photographique est impressionnée par les radiations d'une fréquence plus élevée que l'extrême violet. Grâce à elles, on peut percer le secret des corps opaques qu'elles traversent. On peut également, isolant les radiations de l'autre extrémité du spectre, prendre des clichés du sol terrestre à travers les nuages. Ils révèlent des détails qui échappent à la vue directe. Est-il possible de concevoir ces couleurs inconnues? Quelles visions de splendeur ou de cauchemar nous procureraient-elles?

Nous sommes donc placés entre les deux notions extrêmes d'un univers monochrome et d'un univers ultra-polychrome. Certains individus, les daltoniens, occupent une place particulière entre la vision polychrome à laquelle nous sommes habitués et l'absence de vision colorée ou achromatopsie. Ils ne perçoivent pas la différence entre certaines radiations visibles, ce qui constitue évidemment pour eux une gêne considérable et les rend incapables d'exercer certaines professions où la nécessité de distinguer toutes les couleurs est primordiale. John Dalton, physicien, chimiste et naturaliste, a parfaitement décrit ses impressions de premier daltonien imaginant des couleurs qu'il ne voyait pas. Les abeilles et la plupart des insectes, dont les yeux ne perçoivent que le bleu et le jaune, vivent dans un univers bicolore.

Allant plus loin encore dans les sentiers de l'espace hypothétique, nous parvenons aux limites de la physique en ces « univers image » où nos données sur la matière et l'énergie sont inversées. Corps solides et radiations ont pris une autre structure. Les particules de l'atome sont différentes de celles que nous connaissons, un peu de la même manière que le pôle positif d'une source électrique est différent du pôle négatif. Le proton est remplacé par le neutron, les électrons ont des charges qui neutralisent celles des électrons de notre univers. Dans ce monde étrange comment serait la lumière? Quelles seraient les couleurs? Dieu seul pourrait nous répondre ou ceux qui l'ont approché, tel saint Jean. Dans sa vision de Pathmos, l'Évangéliste « ravi en esprit » arrive devant le trône céleste ou « Quelqu'un était assis » et « Celui qui était assis avait l'aspect d'une pierre de jaspe et de sardoine, et le trône était environné d'un arc-en-ciel semblable à de l'émeraude ». Toutes ces teintes d'or, d'absinthe, de sang, d'eau vive, de pierres précieuses, aux noms mystérieux semblent indiquer des colorations apocalyptiques inaccessibles à nos sens.

Tout naturellement, le Paradis est devenu un es-

pace azuré de ce bleu clair et léger du ciel, la plus fraîche, la plus transparente des couleurs, celle dont on revêt aussi les plus belles princesses des contes de fées... vous vous souvenez de « Peau d'âne » : « Elle avait une robe couleur du jour ? Et l'enfer est resté ce royaume des ténèbres où, privés de la lumière céleste, les damnés ne perçoivent que les fumées jaunâtres du soufre et le sinistre rougeoiement des flammes expiatoires.

CONCLUSION

Mais il nous faut achever ce voyage au cours duquel, partis des sources de la pensée et voguant sur les ailes multicolores de la lumière, nous avons progressé jusqu'aux frontières de l'irréel. Nous avons fait défiler les possibilités, les applications, les constructions matérielles ou spirituelles de cette entité que nous célébrons.

Belle presque toujours, utile bien souvent, mystérieuse parfois, essentiellement variée, nous avons tour à tour vanté ses exceptionnelles qualités. Nous aurions pu trouver maintes façons différentes de bâtir

notre éloge et lui donner bien d'autres développements, mais il fallait se limiter. Ce que nous avons dit suffit, je crois, à nous persuader de l'importance que la couleur tient dans notre vie.

Jetons un dernier coup d'œil sur les pages de cet album que nous avons feuilleté ensemble :

Des visages d'enfants — des visages de femmes — des fleurs, des fleurs, encore des fleurs, toujours des fleurs — et le petit papillon de tout à l'heure venu se reposer — une cloche devant la mer — la mer « toujours renouvelée » — l'eau, les chutes du Niagara — de beaux monuments — de beaux paysages — des costumes rutilants — des objets aux teintes vives ou délicates — des œuvres d'art, tapisseries, vitraux, et... la vraie Joconde.

Les yeux remplis de ces visions de beauté, de luxe ou de joie, nous comprenons mieux encore combien la couleur imprègne notre existence et tout ce qui l'entoure.

Osons paraphraser Chantecler dans son cri final de l' « Hymne au Soleil ».

*O couleur, toi sans qui les choses
Ne seraient que ce qu'elles sont !*

IMPRIMERIE DE L'EST
C H A U M O N T
(H A U T E - M A R N E)

Dépôt légal 2^e trimestre 1959
N^o d'inscription 133

IMPRIMÉ EN FRANCE